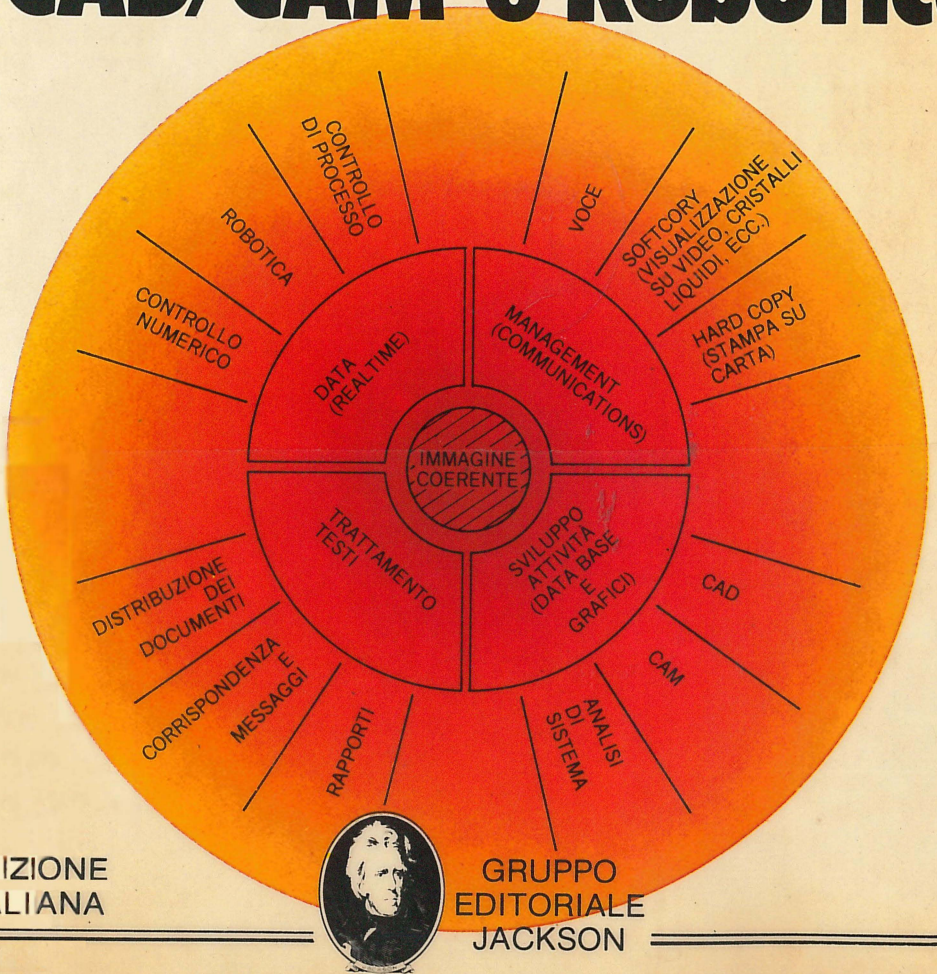
DIMITRIS N. CHORAFAS

MICROPROCESSORI AL SERVIZIO DEL MANAGEMENT: CAD/CAM e Robotica



EDIZIONE ITALIANA

GRUPPO EDITORIALE JACKSON

MICROPROCESSORI AL SERVIZIO DEL MANAGEMENT: CAD/CAM e Robotica

DIMITRIS N. CHORAFAS

GRUPPO
EDITORIALE
JACKSON
Via Rosellini, 12
20124 Milano

© Copyright per l'edizione originale Petrocelli Books, Inc.
© Copyright per l'edizione italiana Gruppo Editoriale Jackson 1983

Il Gruppo Editoriale Jackson ringrazia per il prezioso lavoro svolto nella stesura dell'edizione italiana la signora Francesca Di Fiore e l'ing. Roberto Pancaldi.

Tutti i diritti sono riservati. Stampato in Italia. Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta, memorizzata in sistemi di archivio, o trasmessa in qualsiasi forma o mezzo, elettronico, meccanico, fotocopia, registrazione o altri senza la preventiva autorizzazione scritta dell'editore.

Fotocomposizione:
CorpoNove s.n.c. - v. Borfuro 14/C - Bergamo - Tel. 035/22.33.65-22.33.63

Stampato in Italia da:
S.p.A. Alberto Matarelli - Milano - Stabilimento Grafico

SOMMARIO

PREFAZIONE VI

CAPITOLO 1 — NUOVI ORIZZONTI 1
1 — Introduzione 1
2 — Le nuove fisiche 3
3 — Scoprire i segreti della natura 5
4 — La ricerca sulla conduttività 8
5 — Il fondamentale microprocessore 11

CAPITOLO 2 — L'APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA DEI MICROPROCESSORI 17
1 — Introduzione 17
2 — Una sfida sempre crescente 19
3 — Si creano delle opportunità 23
4 — Saper sfruttare gli avanzamenti tecnologici 25
5 — Un ruolo per la microelettronica 29

CAPITOLO 3 — L'ARCHITETTURA DELLE APPARECCHIATURE 31
1 — Introduzione 31
2 — Considerando i microcircuiti 32
3 — LSI — Large Scale Integration 33
4 — Le funzioni supportate dal microprocessore 37
5 — Bit per parola 43
6 — Bits and Gates 45

CAPITOLO 4 — LE MOTIVAZIONI E GLI STIMOLI PRODUTTIVI 49
1 — Introduzione 49
2 — Tendenze della tecnologia 52
3 — Una sfida continua 57
4 — I micromainframe 60
5 — Immense possibilità 62
6 — Dal punto di vista dell'utente 68

CAPITOLO 5 — UNA POLITICA PER L'INFORMAZIONE 71
1 — Introduzione 71
2 — Prepararsi per la rivoluzione del sapere 73

3 — Una tecnologia innovativa 74
4 — La gestione del cambiamento 76
5 — Verso una politica dell'informazione 80
6 — "L'addetto alla conoscenza" 82

CAPITOLO 6 — IL WAFER 85
1 — Introduzione 85
2 — La fotomaschera 87
3 — Ottimizzare la produzione 91
4 — Precisione nella fabbricazione 93
5 — Progettare una strategia di mercato 95

CAPITOLO 7 — QUALITY ASSURANCE 99
1 — Introduzione 99
2 — L'approccio "black box" 101
3 — Misurazione della qualità 104
4 — Il "rischio del consumatore" 113
5 — Sottoporre a test i VLSI ed il software 113

CAPITOLO 8 — LE PREMESSE INGEGNERISTICHE 115
1 — Introduzione 115
2 — La piastra a circuiti stampati 117
3 — High e low end 121
4 — Microprocessori e microcomputer 123
5 — Alcune apparecchiature di memorizzazione 128

CAPITOLO 9 — INTERCONNETTERE E INTERFACCIARE 133
1 — Introduzione 133
2 — Realizzare un'interfaccia 134
3 — Trattare i dati e l'indirizzamento 137
4 — Input, Output e trasferimento dei dati 139
5 — Futuri sviluppi nell'interfaciamento 143

CAPITOLO 10 — FIRMWARE E MICROCODICE 149
1 — Introduzione 149
2 — Microprogrammazione 150
3 — Una sfida al software 153
4 — Programmare il microcomputer 159
5 — La prossima frontiera nella microcodifica 162

CAPITOLO 11 — IL CAD — COMPUTER AIDED DESIGN 167
1 — Introduzione 167
2 — Soluzioni e metodi computer assisted 169
3 — CAD e CAM 172
4 — L'apparecchiatura CAD 178
5 — Efficienza di progettazione e di disegno 181

CAPITOLO 12 — UNA METODOLOGIA PER IL CAD 187
1 — Introduzione 187
2 — Raggiungere l'interattività 188
3 — Metodi di visualizzazione 192
4 — Il supporto software 196
5 — Effetti sulla produttività 202
6 — Una giustificazione dei costi 206

CAPITOLO 13 — LA ROBOTICA 209
1 — Introduzione 209
2 — L'innovazione nelle pratiche aziendali 211
3 — La ricerca sulla robotica 215
4 — Robotica e produttività 217
5 — Un approccio integrato 219

CAPITOLO 14 — METTERE A PUNTO LA CAPACITÀ PRODUTTIVA 225
1 — Introduzione 225
2 — I mutamenti in corso nel mondo della produzione . 227
3 — Una fabbrica robotizzata 228
4 — Il controllo numerico 233
5 — Seguire i grandi processi di sviluppo 237
6 — Verso fabbriche più piccole e più efficienti 239

CAPITOLO 15 — IL CONTROLLO DI PROCESSO 243
1 — Introduzione 243
2 — Il monitoraggio della qualità 244
3 — Il processore per la manutenzione 248
4 — Un approccio a livelli 251
5 — Convertire le risorse produttive 254
6 — Rimuovere i difetti funzionali 260
7 — Product Assurance 262

APPENDICE 274
1 — Schema di un programma di corso orientato ai tecnici 274
2 — Glossario 279

PREFAZIONE

Anche se abbiamo padronanza e consapevolezza delle conoscenze che abbiamo già raggiunto, dobbiamo però ammettere che allo stato attuale non sappiamo neppure la natura dei futuri avanzati sistemi ai quali ci condurrà la creatività e l'immaginazione dell'uomo, unitamente ad un duro lavoro. Questo libro presenta alcune delle ultime conquiste tecnologiche, che non sono, in nessun caso, l'ultima parola su ciò che si può fare con la potenza dei microprocessori.

La forza trainante dietro lo sviluppo e uso dell'elettronica è la concorrenza di mercato. Non è facile diventare un valido competitore nel mondo industriale di oggi. Da un lato un'azienda deve essere in possesso della capacità di produrre i prodotti che vuole l'utente, ed a un costo conveniente per il possibile acquirente. Allo stesso tempo deve offrire prodotti di qualità indiscutibilmente superiore.

Dal momento che i prodotti cambiano e le capacità che offrono agli utenti finali evolvono in funzione dello sviluppo tecnologico, i responsabili delle aziende produttrici devono avere non comuni doti di preveggenza e di capacità nella progettazione, nella produzione e nella strategia di mercato. La capacità di valutare la tendenza delle vendite e quella di determinare quali prodotti saranno più richiesti dovranno essere coltivate con il supporto di metodologie e tecnologie adeguate.

La tecnologia avanza rapidamente ed anche il mercato spesso corre più velocemente di noi. Lo sviluppo dei circuiti integrati con il transistor planare alla Fairchild Semiconductors avvenne quando la società aveva solo due anni. Il microprocessore nacque alla Intel solo due anni dopo la fondazione dell'azienda.

Lo sviluppo della microelettronica ha a sua volta creato nuove opportunità: dai sistemi aziendali alla didattica, applicazioni domestiche, automobili, telecomunicazioni e personal computer. Se un'azienda non ha una valida linea di computer e di sistemi di comunicazione di adeguata tecnologia, non potrà mai operare in modo efficiente.

Questo libro è stato pensato per costituire un'intensa e rapida esperienza conoscitiva rivolta a tutti quei responsabili aziendali che, impegnati nel loro lavoro di tutti i giorni, si trovano a dover fronteggiare decisioni in merito all'uso di microprocessori nella linea di prodotto dell'azienda o negli stessi strumenti di produzione. Non è certo scritto per gli specialisti; il suo obiettivo è il demistificare e rendere comprensibili concetti spesso usati e di mostrare come possono essere realmente applicati per incontrare le necessità aziendali.

La prima parte si riferisce alle novità nel campo della tecnologia; lo scopo del 1°

capitolo è di portare a conoscenza del lettore gli orizzonti che sono stati aperti in vari campi: dalla nuova fisica alla realtà dei semiconduttori. Segue il capitolo 2 con un'introduzione alle prospettive nelle applicazioni della tecnologia dei microprocessori.

I due capitoli successivi, per rendere più familiare il microprocessore, sono dedicati rispettivamente all'architettura dell'apparecchiatura ed ai prodotti sempre più stimolanti che sono stati realizzati in seguito agli sviluppi tecnologici. La prima parte termina riferendosi al principio che se non si ha una visione coerente e molto precisa dei nostri obiettivi non si sarà in grado di trar tutti i vantaggi che ci sono offerti dal mondo nuovo che ci attende.

La seconda parte è stata scritta per familiarizzare il lettore con la progettazione, con la costruzione e con le interfacce necessarie al microprocessore. Il primo capitolo è dedicato ai processi che vanno dalla progettazione alle strategie di mercato. Il successivo mette in evidenza la necessità dei controlli di qualità e porta all'attenzione del lettore le difficoltà che si incontrano nell'organizzare i test per i circuiti ad altissima integrazione (VLSI).

L'argomento del capitolo 8 è costituito dalle piastre di circuiti stampati e dallo sviluppo dei microcomputer dai microprocessori. Il capitolo successivo tratta come le piastre possono essere interfacciate. Dopodichè vi è un capitolo dedicato al firmware, alla progettazione del microcodice e ai vantaggi che se ne traggono.

Particolare attenzione è dedicata al software perchè è il software e non l'hardware l'elemento centrale dello sviluppo degli anni 80. I Giapponesi si sono resi conto molto bene di ciò: il loro terzo piano quinquennale (1970-1974) è stato interamente dedicato alla realizzazione di mainframe plug-compatible. Il risultato è stata la serie M di CPU compatibili con l'IBM. Il secondo piano quinquennale (1975-1979) era centrato sui semiconduttori e nel corso dell'ultimo anno del piano i Giapponesi hanno conquistato qualcosa come il 42% del mercato americano per i chip a 16 KB. Il terzo piano quinquennale (1980-1984) è dedicato al software e l'obiettivo è diventare i primi nel passare dall'ormai decrepita arte di analizzare e programmare manualmente alla codifica, al test ed alla documentazione on-line.

L'intento della terza parte è quello di allargare l'orizzonte applicativo del lettore per aiutarlo a prendere valide decisioni tutte le volte che dovrà trattare di prodotti basati su microprocessori. Mentre le prime due parti sono introduttive e rivolte pressochè ad ogni tipo di professione, nella terza si presenta una decisione fondamentale in termini di orientamento: Cad, Cam, Robotica.

Il Computer Aided Design (CAD) è un tema trattato in due capitoli, lo scopo è spiegare ai tecnici ed ai managers il processo costituito dal supportare attività di disegno e progettazione con il computer. L'accento è messo in particolar modo sulle applicazioni pratiche, sull'integrazione del CAD con il Computer Aided Manufaturing (CAM), sui metodi di visualizzazione, sul supporto software, sugli effetti che questa metodologia può avere sulla produttività.

Il capitolo 13 presenta la Robotica e le innovazioni nei processi produttivi; anche qui la produttività e la capacità di essere concorrenziali sono i temi chiave. Al lettore

è presentato lo stato attuale della tecnologia e cosa può ragionevolmente aspettarsi dai risultati delle più recenti applicazioni. Per ottenere il massimo dalle apparecchiature basate sui microprocessori, qualunque azienda dovrebbe adeguare il proprio modo e la propria capacità di produrre. Questo è il tema del capitolo 14.

Infine particolare attenzione è dedicata alla necessità di mantenere il processo sotto controllo; procedure di controllo di alta qualità ed attendibilità dovrebbero essere tra le prime preoccupazioni. Sono dati degli esempi in merito, principalmente ricavati dall'industria dei computer. Un processore per l'elaborazione dei dati ha molto in comune con un'industria robotizzata e la nostra attuale esperienza su come convertire le risorse produttive, correggere difetti funzionali, affrontare il problema a livelli, è molto maggiore nel primo caso che nel secondo. Si dovrebbe sempre imparare dall'esperienza.

I tipici lettori di questo libro saranno dirigenti di settori tecnici industriali, specialisti di progettazione, responsabili della produzione, venditori specializzati e professionisti in genere. La loro comune caratteristica sta nel fatto che devono prendere decisioni sul come e quando devono essere utilizzate apparecchiature basate su microprocessori e i microprocessori stessi.

Il materiale è stato preparato e predisposto per persone a livello manageriale e non richiede nozioni specialistiche in merito alle apparecchiature per i computer digitali. L'interesse sta nel capire e nell'apprendere che cosa sta accadendo in questo tumultuoso e promettente settore, soprattutto in termini di opportunità aziendale; questo interesse faciliterà l'assimilazione delle nozioni tecniche.

Vorrei concludere ringraziando tutti coloro che hanno contribuito alla realizzazione ed al successo di questo libro: in particolare coloro con cui opero nel lavoro di tutti i giorni per i loro consigli; le Società che ho visitato nella mia ricerca, per le loro indicazioni; il dottor Minati per l'attenzione messa nel curare l'edizione italiana; vorrei inoltre ringraziare il prof. Minnaja per lo studio del manoscritto e per tutti i suggerimenti ed i creativi contributi che ne sono seguiti. Ringrazio infine Eva-Maria Binder per il disegno dei grafici, per la battitura e per la realizzazione dell'indice.

D. N. CHORAFAS

CAPITOLO 1

NUOVI ORIZZONTI

1 – INTRODUZIONE

Fin dall'inizio di questo secolo il campo della ricerca scientifica è stato suddiviso in un gran numero di problematiche e discipline. Solo vent'anni fa nessuno avrebbe pensato ad una rapida unificazione e ancora oggi l'aspetto più rilevante dell'attuale scienza e tecnologia è proprio la tendenza verso l'unificazione delle diverse discipline. Si è riusciti finalmente ad inquadrare il fatto che parte dei più disparati campi d'indagine scientifica sono basati essenzialmente sugli stessi problemi e sugli stessi principi.

La fisica ha fatto enormi passi verso una teoria unificata, in stretta relazione con una concezione cosmologica: la scienza dell'infinitamente grande e la scienza dell'infinitamente piccolo, qual'è quella delle particelle elementari. Raramente scoperte scientifiche fondamentali vengono fatte con facilità, richiedono invece continui e costanti sforzi, grande intelligenza ed apertura mentale. Queste sono le caratteristiche principali necessarie in ogni attività e la scoperta scientifica è, per eccellenza, il frutto della creatività e dell'impegno dell'intelligenza.

Gli esperimenti suggeriscono teorie e le teorie portano a stabilire relazioni di causa ed effetto valide finchè non vengono impostate nuove teorie che ne cambiano il punto di vista, le superano e le contengono. La ricerca avente per oggetto proprietà sconosciute e comunque tanto lontane da noi richiede di poter effettuare esperimenti accuratissimi e macchine sempre più potenti per poterli realizzare, e questo considerando che ogni tipo di macchina è adatta al proprio specifico campo di ricerca.

I progressi scientifici più significativi sono, per definizione almeno, quelli che non sono tanto facilmente prevedibili, e questo è il caso di grandi avanzamenti della tecnologia, come nel campo dei semiconduttori. La conoscenza tecnologica ha le proprie radici nella scoperta scientifica ma, come si vede nella Figura 1.1, vi è un notevole lasso di tempo tra la scoperta dei principi fisici e la loro applicazione. Rivoluzionarie scoperte nel campo della fisica hanno spesso seguito un processo troppo lento, durato vari anni, verso applicazioni pratiche.

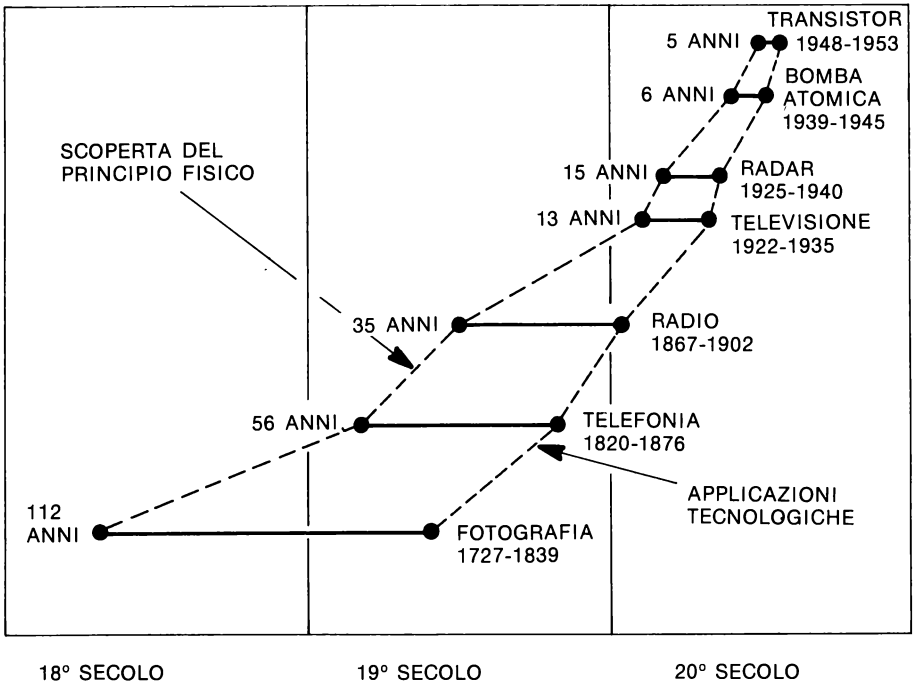


Figura 1.1 — sono due le tendenze che devono essere considerate con attenzione. Quella riguardante la scoperta di principi della fisica e l'accelerarsi delle conseguenti applicazioni tecnologiche.

Un'altra importante osservazione riguarda l'accelerazione del processo di scoperta e di sviluppo. Vi sono statistiche in merito che documentano come nel corso della storia le scoperte di scienziati e tecnici abbiano trovato applicazione solo dopo la loro morte. Il massimo e continuo incremento della capacità e creatività del pensiero è spesso dovuto a grandi dispute su importanti argomenti. Ora stiamo per entrare in una nuova era in cui, grazie a microprocessori, anche l'uomo comune potrà partecipare alla grande avventura della tecnologia.

I processi e i prodotti della tecnologia, la nuova scienza fisica e la microelettronica, ci hanno portati ad un punto tale da poter vedere il mondo in un modo radicalmente diverso da quello a cui eravamo abituati. I risultati delle scienze più avanzate possono inoltre accelerare i ritmi di sviluppo, portarci a veri e propri salti di qualità nella tecnologia e cambiare i valori a cui siamo abituati.

Questo è il messaggio di fondo che desidero sia recepito dal lettore in questo primo capitolo.

Per rendere creativo il nostro modo di pensare dobbiamo disporre del maggior numero possibile di dati e di informazioni e rigirarli come ci pare per ipotizzare risultati

ed applicazioni. Se non abbiamo tutto l'insieme dei dati sperimentali non possiamo neppure decidere quali sono quelli che non ci interessano; non disporre di dati sperimentali significa limitare di molto la comprensibilità del fenomeno sotto osservazione. È per tale motivo che in questo capitolo ed in alcuni dei seguenti parleremo fondamentalmente di dati di fatto. Dopodichè faremo le nostre speculazioni su come usare tali dati per pianificare il futuro.

Questi sono i motivi fondamentali per cui prima di parlare dei microprocessori e delle loro proprietà daremo un'occhiata alle attuali frontiere della conoscenza: è da qui che verranno i nuovi strumenti per estendere ed ampliare la capacità della mente. Il progresso tecnico e scientifico è inevitabile, una civiltà che smette d'interrogarsi sull'universo fisico chiude il proprio futuro.

2 — LE NUOVE FISICHE

Non molto tempo fa un premio Nobel ammetteva che si stava studiando la possibilità di unificare certe forze fisiche fondamentali in un'unica teoria fisica. Come ipotizzato dai migliori cervelli del nostro tempo tale impresa promette di eguagliare l'unificazione teorica che Maxwell realizzò nei primi anni del XIX secolo tra elettricità e magnetismo. Notando allora che esisteva un'incongruenza tra le equazioni del magnetismo e quella dell'elettricità, James Clerk Maxwell grazie al suo intuito aggiunse un altro termine a questi algoritmi. Questo permise di trattare l'elettricità e il magnetismo come differenti aspetti delle forze elettromagnetiche e spianò la strada all'invenzione del telefono, della radio, della televisione e, in generale, dell'elettronica.

Forti delle conquiste nel campo della fisica nucleare dell'esperienza maturata nel corso degli ultimi 15 anni arrivando a conoscere proprietà del tutto inimmaginabili prima, gli scienziati sono oggi alla soglia di nuovi e più importanti salti di qualità. Si sta aprendo un nuovo capitolo nel campo della fisica delle particelle che si basa su due fondamentali sviluppi, uno degli ultimi anni '60 e l'altro dei primi anni '70:

1. la sempre maggiore evidenza che le centinaia di particelle subatomiche individuate sono virtualmente composte da 3 elementi base: i quark, i leptoni ed i partoni

   (n.d.T. — *Le particelle elementari possono essere considerate sia secondo l'intensità delle loro interazioni sia secondo parametri quantistici. Per quanto riguarda le loro interazioni, esse possono suddividersi in: 1. interazione forte; 2. interazione debole; 3. interazione elettromagnetica; 4. interazione gravitazionale. Per quanto riguarda i parametri quantici possono essere considerate: 1. l'energia di massa e riposo; 2. la rotazione e momento magnetico; 3. la parità ed i numeri quantici che risultano dal comportamento nelle reazioni nucleari. Se si considera l'energia di massa a riposo si possono distinguere particelle elementari: 1. leggere a leptoni (elettrone, positrone, ...); 2. Medie a mesoni; 3. pesanti a barioni (protoni, neutroni); 4. senza massa a riposo o fotoni. Secondo le teorie a cui si accenna le particelle elementari sono costituite da unioni di ele-*

menti ancora più semplici cioè i quark, i leptoni ed i partoni; questi ultimi sarebbero costituiti del protone e del neutrone. Questi sembrano essere gli elementi base costitutivi della materia tra loro composti da quelle che si pensa siano le forze fondamentali della natura).

2. il fatto che gli scienziati ora pensano riferendosi a tre tipi di forze: la gravità, l'elettromagnetismo e le cosiddette interazioni deboli e forti.
   (n.d.T. — *vedasi la nota precedente. Alcuni dati relativi a tali interazioni sono i seguenti:*

Interazione	Sezione d'urto	Durata	Portata
Forte	$10^{-35}\ cm^2$	$10^{-24}\ S$	$10^{-15}\ cm$
Debole	$10^{-44}\ cm^2$	$10^{-8}\ S$	$10^{-44}\ cm$
Elettromagnetica	$10^{-32}\ cm^2$	$10^{-16}\ S$	$10^{-24}\ cm$
Gravitazionale	(Finora non sono state mai osservate)		

Un'interazione di tipo "forte" mantiene insieme i nuclei atomici. L'interazione di tipo "debole", un miliardo di volte inferiore alla precedente, può essere ritrovata in vari processi di decadenza radioattiva. Con la teoria delle interazioni suddette, solo parzialmente sperimentata, i fisici stanno già tentando un'ulteriore unificazione combinando le interazioni "deboli" a quelle di tipo "forte". L'interesse scientifico per gli accoppiamenti dovuti alle interazioni "deboli" sta principalmente nelle relazioni con le "interazioni forti".

David Politzer sviluppò questa teoria nel 1973 ed è diversa da ogni altra teoria preesistente in fisica. Una forza di accoppiamento è *debole* quando gli oggetti sono vicini tra loro; diventa *più forte* quando li allontaniamo. I risultati sperimentali hanno confermato in modo sufficientemente valido l'accuratezza delle ipotesi in merito alle "forze che agiscono con i quark" e si è così aperta la strada alla più vasta teoria dei "quanta chromodynamics", QCD, che permettono di prevedere il comportamento dei quark e delle relative forze.

Vi sono differenti varietà di quark. Una delle caratteristiche che le differenzia è la proprietà che determina come differenti quark si combineranno, in analogia con quanto accade con le cariche elettriche. Che cos'è un quark? La teoria di Politzer era un risposta ad un problema che si pose alla fine degli anni '60. A quel tempo Steven Weinberg e Obdus Salam iniziarono un'impresa simile a quella compiuta da Maxwell. S'impegnarono a trovare un'unica descrizione matematica per le forze elettromagnetiche e "le interazioni deboli e forti".

Come accade con tutte le buone teorie, il progetto steso da Salam e Weinberg fece delle precise previsioni quantitative in merito al livello subatomico della materia. Erano necessari degli esperimenti per provare la teoria in particolar modo per confermare la previsione che, alle alte energie, si sarebbero create delle specifiche particelle mai osservate prima; due di queste erano state provvisoriamente battezzate particelle "W" e "Z".

Come è ben noto gli esperimenti scientifici richiedono attrezzature e macchinari,

più gli esperimenti sono di tipo avanzato e più richiedono macchine potenti. Questo vale sia per i ciclotroni che per i microprocessori. Quando, nei capitoli che seguono, parleremo della potenza dei microprocessori, generalizzeremo questa specie di assioma: "le macchine intelligenti sono come lenti per un immaginario occhio del cervello".

In questo senso le apparecchiature basate sui microprocessori si presentano come ideali per un efficiente e concreto supporto alle attività di ogni giorno. Dagli svariati lavori d'ufficio e le rispettive attività professionali all'aiuto che si può avere nelle attività domestiche. Quarant'anni fa i microprocessori sarebbero stati il sogno di ogni fisico. Ma questi sono tempi passati.

Dal 1930 la potenza delle macchine acceleratrici di particelle subatomiche è aumentata di 10 volte ogni 7 anni; tanto che si può fare un paragone tra la fisica delle particelle ed i programmi spaziali in termini di capitali investiti. Si può inoltre fare un parallelo tra la ricerca fisica quale era una decina di anni fa e la fisica che sperimentiamo oggi.

Nel 1911 il fisico olandese Kammerling Onners scoprì che vicini allo zero assoluto (−273, 15° C) alcuni metalli perdono la loro resistenza alla corrente elettrica e diventano superconduttori. Le applicazioni commerciali sono apparse 70 anni dopo: nei circuiti elettronici dei computer, nei reattori a fusione ed in altri campi. È grazie all'aiuto di sofisticate apparecchiature che i fisici stanno cercando di scoprire le leggi dell'universo; è da questi sforzi che arriveranno rivoluzionarie scoperte che sconvolgeranno le leggi naturali ed offriranno all'umanità la possibilità di compiere un nuovo enorme balzo in avanti nel modo stesso di vivere. Il microprocessore è uno di questi imprevisti ma importanti risultati.

3 — SCOPRIRE I SEGRETI DELLA NATURA

Gli anni che vanno dal 1920 al 1940 erano all'insegna della rivoluzione concettuale introdotta dalla teoria della relatività e dalla teoria dei quanti. Fu con il gigantesco (per quei tempi) programma nucleare degli anni 40 e con altre imprese scientifiche, quali la tecnologia missilistica, che la fisica postbellica affrontò problematiche completamente nuove. Da un lato vi era il problema della esplorazione dell'universo grazie alle sonde spaziali e ai nuovi telescopi grazie a cui si espandeva l'orizzonte dell'uomo fino ai più lontani confini dell'universo.

Dall'altro gli acceleratori di particelle divennero uno strumento vitale nello sforzo d'identificare i più piccoli ed indivisibili elementi costitutivi della materia.

Non vi era e continua a non esservi limite in questa lotta per conoscere. Nel 1980, nel Nuovo Messico, fu inaugurato il più grande telescopio del mondo: una struttura larga 34 Km. che è costata circa 78 miliardi di lire; mentre la navicella spaziale Voyager raggiungeva Saturno, grazie ad uno sforzo pari a 340 miliardi di lire. Nel 1981 il CERN, il laboratorio internazionale per lo studio delle particelle, ha concluso un progetto costato 120 miliardi per provocare la collisione tra la materia e l'antimateria; questa organizzazione ha già richiesto uno stanziamento di 550 miliardi di lire per costruire una macchina capace di far collidere gli elettroni ed i positroni; e que-

sto mentre a Brookhaven si sta costruendo un'apparecchiatura da 275 miliardi di lire per accelerare i protoni.

Si amplia sempre più, sia per sofisticazione, sia per dimensioni la necessità di apparecchiature per la nuova fisica. Sono necessarie macchine capaci di trattare i protoni per studiare sia i quark che i partoni; sono necessari sistemi in grado di trattare i positroni per verificare la teoria delle "interazioni forti/deboli", altre apparecchiature sono necessarie per soddisfare la sete di conoscenza dell'uomo verso l'universo. Da questi investimenti si otterranno quasi sicuramente importanti scoperte, ma mentre le più spettacolari conseguenze in campo commerciale si realizzeranno non prima del prossimo secolo, la convenienza dei finanziamenti alla ricerca nel campo della nuova fisica è diventata uno dei maggiori argomenti di discussione; si tratta di un enorme ma, allo stesso tempo, remunerativo investimento.

Come i microprocessori promettono di cambiare molti aspetti della nostra vita di tutti i giorni, così la scoperta di nuove particelle elementari ha cambiato il mondo della fisica. Una quindicina d'anni fa un lavoro sperimentale realizzato con acceleratori ad alta energia mutò il modo con cui i fisici consideravano la materia e cioè come qualcosa costituito da poche particelle elementari: elettroni, protoni, neutroni; i risultati sperimentali condussero a teorie che dovevano considerare centinaia di diverse particelle, nessuna più elementare dell'altra. Inoltre il comportamento di queste particelle si rivelò governato da forze distinte, quali quelle che abbiamo prima menzionato.

Uno dei maggiori risultati fu la dimostrazione che la più pesante delle particelle appena scoperte (e così anche il vecchio familiare protone e neutrone) era una struttura composta, una combinazione di componenti ancor più elementari di quelli di cui si era già a conoscenza. È proprio a questi componenti che fu dato il nome di *quark*. L'ipotesi prevalente fu che essi erano simili, per alcuni aspetti, alle particelle costituenti la luce.

I quark sono privi di struttura e cioè puntiformi. Coppie o triadi di essi sono saldati con i partoni; tali conglomerati costituiscono a loro volta varie particelle. Sono influenzati tutti dall'interazione nucleare "forte" che lega i nuclei degli atomi. I protoni ed i neutroni sono le più comuni combinazioni di questo tipo. Questa teoria è stata in grado di effettuare nuove previsioni quale quella che il protone è debolmente radioattivo e quindi che tutta la materia è, in ultima istanza, instabile e quindi soggetta a decadimento.

La questione della mancanza di strutture è veramente critica. Prima della nuova teoria si supponeva che i protoni, i neutroni, e particelle similari avessero una struttura intrinseca. Ora i nuovi postulati della fisica prevedono che esse siano costituite di quark; queste teorie includono ancora solide verifiche sperimentali.

I rilevatori presenti negli acceleratori di particelle non mostrano tracce dirette di nessuno di questi ipotizzati componenti. Solo quando gli acceleratori fanno collidere protoni o elettroni, qualche volta producono le tracce previste dalla teoria dei quark.

Vi è un altro principio fisico fondamentale che riguarda le "interazioni forti e deboli". Vi sono particelle che non essendo soggette alle "interazioni forti" sono indivisi-

bili. L'elettrone è la più familiare fra queste particelle chiamate *leptoni*. Si è ipotizzato che i quark si possano presentare sia nella forma di materia che di antimateria (l'antimateria è come la materia normale solo che certe proprietà sono inverse; il positrone è la forma di antimateria, a carica positiva, dell'elettrone).

Come ci è noto da altre esperienze, quando avviene lo scontro tra materia e antimateria si ha il fenomeno dell'annichilamento e la massa si trasforma in energia irraggiata. Al contrario coppie di particelle di materia e antimateria possono costituire energia pura. Questi processi di creazione e di trasformazione producono i modelli di comportamento che i fisici ricercano negli esperimenti condotti con gli acceleratori.

Per ottenere l'enorme potenza necessaria alla collisione da cui avere la creazione di nuove particelle si sono seguite queste vie. La prima richiedeva l'uso di magneti superconduttori capaci di fornire sufficiente energia per far scontrare l'uno con l'altro i protoni. La seconda consisteva nel far scontrare particelle di materia e di antimateria poiché quando si realizza tale collisione si ottiene energia molto maggiore che con le particelle di materia. Gli scienziati desidererebbero anche riuscire a far collidere elettroni e positroni grazie a cui si avrebbe molto probabilmente una scarica di nuove particelle, comprese le "W" e "Z" suddette. *

I nuovi obiettivi della moderna scienza fisica, specialmente per quanto riguarda la collisione elettrone-positrone, sono costituiti da modelli sperimentali nei quali si ha l'emissione di energia e materia. Si prepara un successivo grande passo in avanti mentre i fisici già ora parlano di 7 qualità di quark, ciascuno accoppiato con i propri antiquark anche se mancano ancora conferme sperimentali.

Gli eventi che coinvolgono i partoni dovrebbero produrre due emissioni di direzione opposta. Una doppia emissione studiata nel corso degli ultimi 5 anni è servita di supporto alle predizioni dei QCD: non solo l'elettromagnetismo ma anche "le interazioni deboli/forti" derivano da origini comuni se si lavora sul mondo dei quark. Forse la teoria gravitazionale dei QCD potrebbero essere contenute in un'unica grande teoria unitaria in grado di dominare sia il mondo dell'infinitamente piccolo delle particelle, sia il mondo dell'universo.

Tra parentesi la teoria dei "quanta chromodynamics" è una di quelle teorie che qualunque uomo di cultura dovrebbe tenere in giusta osservazione. Partendo dall'ipotesi che i quark sono connessi con i partoni, la teoria dei QCD è basata sul postulato analogo a quello provato per il quanto elettrodinamico che descrive l'interazione

---

* Durante il meeting internazionale di Fisica tenutosi a Roma il 14 gennaio 1983, Carlo Rubbia, responsabile dell'esperimento UA1 del CERN di Ginevra, ha annunciato di aver ottenuto la dimostrazione sperimentale dell'esistenza della particella "W".

I fisici sono concordi nel ritenere storica tale scoperta in quanto rivoluziona le concezioni fino ad ora seguite ed oltre concrete possibilità di realizzare una teoria unitaria della fisica, capace forse anche di spiegare l'origine dell'universo.

Facendo scontrare fasci di protoni e di antiprotoni Carlo Rubbia è riuscito, con i suoi 180 collaboratori ad avere traccia della presenza di particelle "W" in almeno sei collisioni su circa un miliardo.

La durata della vita di tale particella è dell'ordine di 10^{-27} secondi.

Procedendo su questa strada Carlo Rubbia e i suoi collaboratori si prefiggono di trovare l'altra particella prevista dalla teoria elettrodebole: la particella "Z".

di particelle con le forze elettromagnetiche. È interessante notare che i fisici rimanendo a corto di nomi per tutte le proprietà trovate nel campo della materia subatomica hanno assegnato dei colori ai vari tipi di cariche per i quark, da cui il termine cromodinamico.

Questi sviluppi porteranno ad una serie di nuovi processi e prodotti come accadde con le invenzioni che seguirono la teoria unificante di Maxwell per l'elettromagnetismo? È difficile a questo punto dare una risposta ma, come ha suggerito il dottor Robert Noyce, uno degli inventori dei circuiti integrati: "come atto di fede la risposta è sì".

I microprocessori non sono gli ultimi mezzi e gli ultimi risultati che ci forniranno la scienza e la tecnologia; sono però quelli disponibili oggi. Ulteriori e migliori sviluppi sono in corso di realizzazione.

4 — LA RICERCA SULLA CONDUTTIVITÀ

Abbiamo ricordato il fatto che vi è un lasso di tempo spesso significativo, tra la scoperta fisica e la sua conseguente applicazione tecnologica. Dopo 30 anni di familiarità con i principi di base che hanno caratterizzato l'uso dei metalli semiconduttori possiamo ora ben apprezzare l'impatto avuto sull'industria, sul commercio e sulla nostra vita di tutti i giorni, del piccolo amplificatore a basso consumo che ha rimpiazzato l'ingombrante valvola, che necessitava di molta energia. La scoperta è avvenuta al momento giusto, considerati i paralleli avanzamenti nella tecnologia dei computer e nelle comunicazioni, così vitali per la vita dell'uomo.

Nel 1839 Becquerel scoprì che veniva generata una differenza di potenziale colpendo con un fascio luminoso un liquido che conduceva elettricità.

(n.d.T. — *L'effetto di Becquerel consiste nella polarizzazione di due elettrodi metallici uguali, immersi in un elettrolita e sottoposti ad un fascio luminoso).*

Dai protoni presenti nel fascio luminoso si ottengono degli elettroni che causano nel liquido la differenza di potenziale: questa fu la base per lo studio dell'effetto fotoelettrico. Nel 1905 Einstein spiegò il fenomeno usando la nuova teoria dei quanti di Planck e dal 1930 tutto il comportamento degli elettroni fu descritto da questa nuova teoria.

Anche se i fisici hanno lavorato per anni sui presupposti, il primo esperimento significativo nel campo della ricerca sulla conduttività avvenne nei primi anni 40. Marvin Kelly, direttore dei laboratori di ricerca della Bell, fu testimone di una dimostrazione riguardante l'utilizzo del silicio, allora poco conosciuto "semiconduttore". La dimostrazione era fatta da Russel Ohl. Il ricercatore mostrò una piccola scatola nera rettangolare dotata di due contatti metallici. Quando la luce illuminò una zona limitata, vicina alla metà di questo pezzo di silicio, si rivelò una differenza di potenziale di 0,5 Volt.

Questo era l'antenato del transistor. Sei anni dopo, la ricerca sulle possibilità offerte dai materiali semiconduttori ricevette un grande impulso grazie all'interesse della Bell ad un eventuale uso dei semiconduttori nei circuiti delle apparecchiature

elettroniche e in amplificatori, allo stato solido. Il gruppo di ricerca era condotto da William Shockley, un fisico teorico, Stanley Morgan, esperto di circuiti elettronici, John Bardeet, Gigney e Walter Brattain.

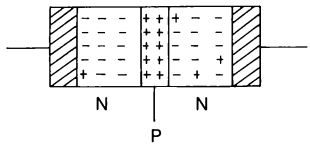
Obiettivo del gruppo era lavorare sulle proprietà dei semiconduttori: materiali con proprietà a metà strada tra quelle dei conduttori e quelle degli isolanti. Si rilevò che la resistenza al flusso di elettroni poteva essere variata agendo su un campo elettrico. Il che significò che un campo elettrico applicato ad un semiconduttore può essere usato come si usavano le valvole, per regolare cioé il flusso della corrente.

L'obiettivo era molto stimolante e ci si rese conto che, nonostante tutto il lavoro fatto prima e durante la seconda guerra mondiale, i fisici erano ancora lontani dal comprendere realmente il fenomeno dei semiconduttori: l'ossido di rame ed altri semiconduttori su cui si erano svolti i primi lavori di ricerca sono dei solidi di struttura molto complessa. Il silicio ed il germanio sono, invece, di struttura molto semplice. Da qui la decisione di studiare il fenomeno in questi materiali. L'attività fu allora rivolta alla fondamentale ricerca sui problemi concernenti gli effetti delle impurità nei materiali semiconduttori.

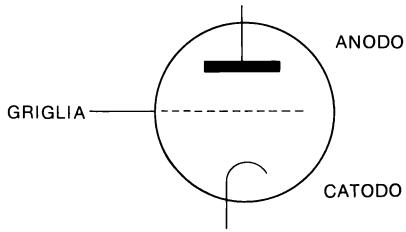
Il lavoro procedeva lentamente, con scarsi progressi, ma col novembre 1947 Brattain e Gibney mostrarono come si poteva vincere l'azione bloccante di elettroni di superficie con un forte campo elettrico ed un elettrolita in contatto con il semiconduttore.

In un mese fu realizzato un transistor sperimentale. Bardeen e Brattain inventarono il transistor a punto di contatto; era realizzato con una lamina di germanio di tipo n e due contatti d'oro. Shockley portò dei contributi al problema delle giunzioni: nessun punto di contatto ma una sottile barra di germanio con un livello di tipo p inserito tra due livelli di tipo n.

(n.d.T. — *Un transistor può essere schematizzato come l'insieme di tre cristalli semiconduttori riuniti a pacchetto e disposti in successione secondo i tipi p-n-p o n-p-n; ad esempio un transistor n-p-n:*



può funzionare come un triodo, tipico tubo elettronico a tre elettrodi:



La tensione applicata alla griglia permette di regolare il flusso di elettroni fra catodo ed anodo. Un segnale debole applicato alla griglia può modulare corrente catodica molto maggiore; ecco dunque che il triodo, e quindi il transistor, può essere usato per amplificare e modulare. Le condizioni di conducibilità elettrica dei semiconduttori vengono grandemente alterate immettendo, con particolari processi tecnologici, delle "impurità". Se in un cristallo di germanio si immettono impurità pentavalenti, cioé con cinque elettroni periferici, in quantità piccolissime (un atomo per vari milioni di atomi di germanio) si creeranno connessioni stabili con gli atomi di germanio con il quinto elettrone poco saldamente collegato; con piccole quantità di energia si potrà renderlo libero. In tale struttura cristallina (ad esempio germanio con impurità di fosforo) compariranno molti elettroni liberi che conferiranno al materiale una maggior conducibilità elettrica. Un materiale con un eccesso di elettroni liberi si dirà di tipo "n" (negativo). Con impurità trivalenti si creerà invece una tendenza a catturare elettroni ed il semiconduttore conferirà al semiconduttore una conducibilità di tipo "p" – positivo –).

Il problema della giunzione per i transistor fu posto nel 1948 e furono necessari tre anni di sforzi per trovare una soluzione applicativamente valida. Strano a credersi, quando l'invenzione fu resa pubblica nel giugno del 1948 vi fu ben poco interesse; i tecnici e gli specialisti che erano abituati alle valvole non avevano nessun interesse a cambiare, inoltre a quel tempo il grande pubblico non si curava granché né delle apparecchiature, né di componenti elettronici.

Il prezzo si rivelò essere un elemento importante. Nel 1953 un singolo transistor era venduto a 21 dollari; 25 anni dopo, grazie ai circuiti integrati, il costo è sceso a 1 millesimo del prezzo originario. La tendenza continua mentre altri prodotti, quale la memoria a nuclei magnetici, non seguono la stessa tendenza e per questo tendono a non essere più utilizzati (Figura 1.2).

Nel 1954 la produzione di transistor raggiunse il livello di 1 milione di unità. Nel 1957 furono prodotti 30 milioni di transistor ad un prezzo in continua discesa. Nel 1978 furono costruiti 1000 miliardi di *bits and gates* (1) basati sui semiconduttori e potranno arrivare ad essere un miliardo di miliardi dal 1984. Per sopravvivere l'industria di semiconduttori ha bisogno di aumentare il proprio fatturato annuo in modo notevole, e considerata la caduta dei prezzi questo significa un aumento annuo, in unità prodotte, del 40-50%.

(1) *bits and gates* = vedasi nota al par. 6 del cap. 3.

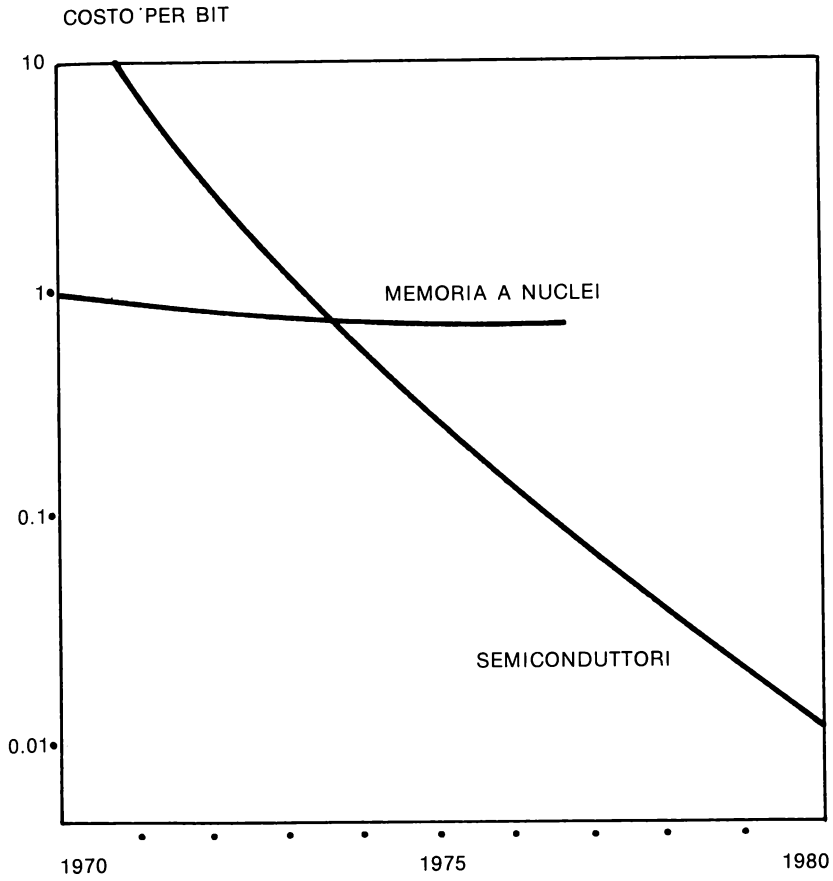


Figura 1.2 — un decennio caratterizzato dalla riduzione dei costi nel mercato dei semiconduttori.

5 — IL FONDAMENTALE MICROPROCESSORE

Abbiamo fatto riferimento a *bits and gates*. Sono due cose diverse ma costituiscono una unità di misura dato che esiste un certo tipo di relazione, in termini di quantità necessaria, tra le memorie ed i circuiti di commutazione. Una connessione usa vari bit ed è alla base del concetto stesso di circuito integrato. Robert Noyce, di cui abbiamo parlato nel precedente paragrafo e Jack Vilby sono i due ricercatori che indipendentemente l'uno dall'altro, inventarono i circuiti integrati.

Lo sviluppo dei circuiti integrati richiese notevoli capacità in due tipi di procedimenti: l'incisione a livelli infinitesimali e la manipolazione delle impurità nei semiconduttori. Una cosi sofisticata capacità d'incisione rende possibile la realizzazione di circuiti su uno strato di silicio. La manipolazione delle "impurità" nel silicio ha per-

messo di creare zone a carica positiva e a carica negativa. L'obiettivo è di creare una superficie con caratteristiche tali da permettere di evitare l'uso dei fili nelle connessioni, collegando un circuito ad un altro per mezzo di un finissimo strato di materiale; la fortuna della Intel si costruì proprio sull'invenzione del dottor Noyce.

Come accade con ogni invenzione furono necessari ulteriori, fondamentali sviluppi per il successivo grande passo in avanti. Nella metà degli anni 50 i tecnici e gli scienziati sapevano come definire la configurazione superficiale di un transistor grazie ai mezzi della fotolitografia: la capacità d'incidere a livelli infinitesimali era una tecnologia in sviluppo. Erano ormai ben noti anche i principi su cui si basavano le tecniche per introdurre le impurità e creare così le zone di tipo "P" e "N".

Il concetto di circuito integrato (I.C.) cominciò a prendere corpo pochi anni dopo l'invenzione del transistor, inteso come un mezzo per un ulteriore, maggiore sfruttamento delle caratteristiche di semiconduttori. L'intrinseca resistenza dello stesso semiconduttore e la capacità (n.d.T.: *capacità intesa come grandezza fisica*) delle connessioni tra le zone positive e negative potevano essere combinate per realizzare un completo circuito di resistori, condensatori e amplificatori. Su questa semplice base si sviluppò sempre più la capacità di integrare un numero sempre maggiore di componenti per chip (Figura 1.3).

La ricerca applicativa di Noyce e di Kilby si adattava molto bene ad una tecnologia che aveva come primario obiettivo la miniaturizzazione dei componenti. I sistemi di comunicazione, di computer e i sistemi militari erano, sono e continueranno ad essere costruiti con migliaia di diversi componenti. Una necessità sempre più impellente è quella di costruire componenti sempre più piccoli per risparmiare spazio, semplificare i collegamenti tra loro ed aumentare l'affidabilità.

L'invenzione di Kilby dei circuiti integrati è costata poco più di 25 mila dollari quando fu concepita ed altri 75 per dimostrare che poteva operare in pratica. Il primo circuito integrato fu dimostrato nel settembre del 1958. La prima applicazione brevettata fu del febbraio 1959 e l'invenzione fu resa pubblica. Ancora una volta la reazione fu di scetticismo: pochi capirono che tale invenzione era un salto di qualità, una vera rottura con il passato.

I circuiti, come erano stati concepiti e sviluppati nel 1959, prevedevano la connessione e la separazione dei transistor e degli altri elementi, elettricamente piuttosto che fisicamente. Gli elementi da collegare sono connessi da un sottile strato conduttore realizzato con vapori di metallo, il quale è a sua volta fotoinciso in modo da formare il tracciato voluto. Uno strato isolante separa il sottostante semiconduttore dal sottile strato conduttore ad eccezione dei punti in cui si desidera avvenga il contatto.

La tecnica era quella conosciuta da tempo, ma i nuovi concetti mutarono in modo con cui gli specialisti consideravano i problemi: dal momento che la tecnologia ridusse i costi, aumentò l'affidabilità e rese disponibile molte funzionalità in più, lo sviluppo si accelerò sempre più. Avvenne proprio come negli anni 50 in cui i semiconduttori sostituirono i tubi elettronici imponendosi come gli elementi logici fondamentali nei circuiti elettronici: funzione per funzione, gli anni 60 aprirono nuovi e più ampi orizzonti.

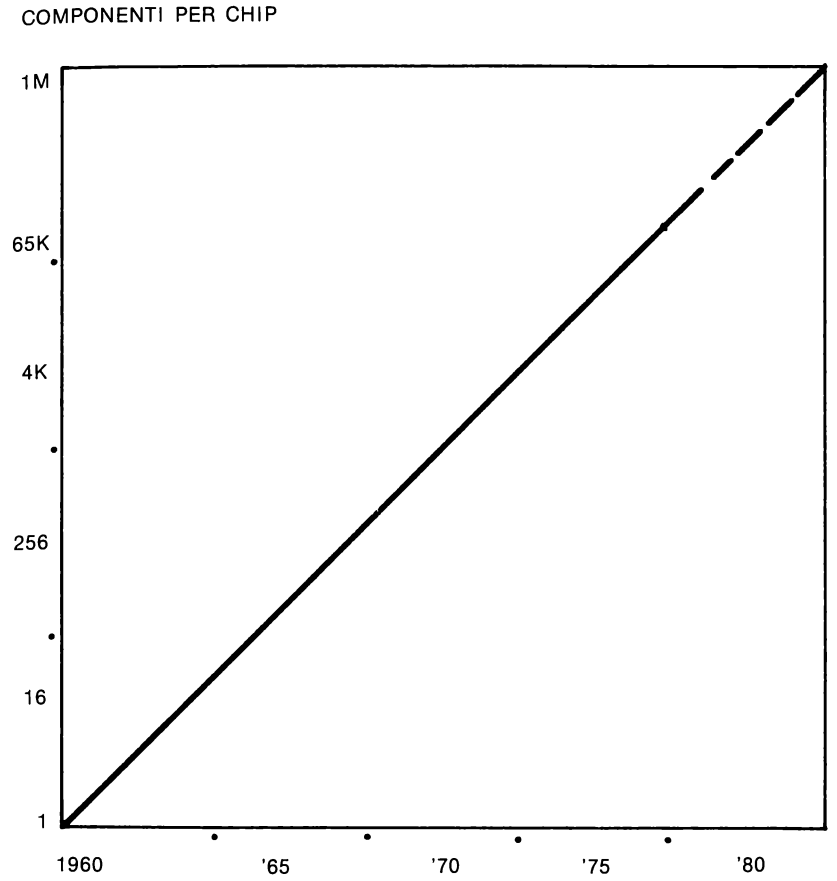


Figura 1.3 — una tendenza che dura da 20 anni consistente nel continuo aumento della densità di componenti per chip.

Fu all'inizio degli anni 60 che la tecnologia delle aziende produttrici fece un grosso passo in avanti: divenne possibile realizzare 20 funzioni logiche elementari su un solo circuito. È con questo che nacque l'integrazione SSI. L'integrazione SSI è stata a sua volta una tappa verso ulteriori conquiste: la strada verso integrazioni sempre maggiori era appena cominciata. Questo comportò inoltre un legame sempre più stretto tra le attività di ricerca ed i problemi tecnologici della produzione effettiva. Non basta ideare e sviluppare un prodotto; occorre anche, con la stessa importanza, creare macchine specializzate per una valida e conveniente messa in produzione.

Nello stesso modo ci si deve occupare di allargare le prospettive e possibilità di applicazione. Contribuì a ciò il fatto che i circuiti integrati non solo rispondono in pie-

no alle esigenze del mercato ma anche sono rivolti ad un mercato molto più vasto di quello che avrebbe potuto essere quello costituito da sistemi di computer, per le comunicazioni e sistemi militari. Queste nuove aree richiedono un numero di circuiti attivi molto più grande di quello necessario per i suddetti sistemi; un campo fu ad esempio, quello dell'amplificazione analogica, come nella radio. Di conseguenza meno costoso e più affidabile è il componente e meglio è usabile nella realizzazione di sistemi elettronici.

Dopo che questi progressi scientifici ebbero modificato i concetti classici, vi fu una tendenza sempre maggiore verso sistemi digitali supportati a loro volta dai successi della microelettronica. Un'apparecchiatura analogica non può gestire un numero molto alto di microcircuiti, al contrario di un sistema digitale. Un calcolatore tascabile contiene 100 volte il numero di transistor presenti in una radio o in una televisione, anche se la vera caratteristica sta nella capacità di calcolo e di elaborazione. Come si vede in Figura 1.4 gli anni 70 hanno visto un aumento impressionante del numero dei microprocessori.

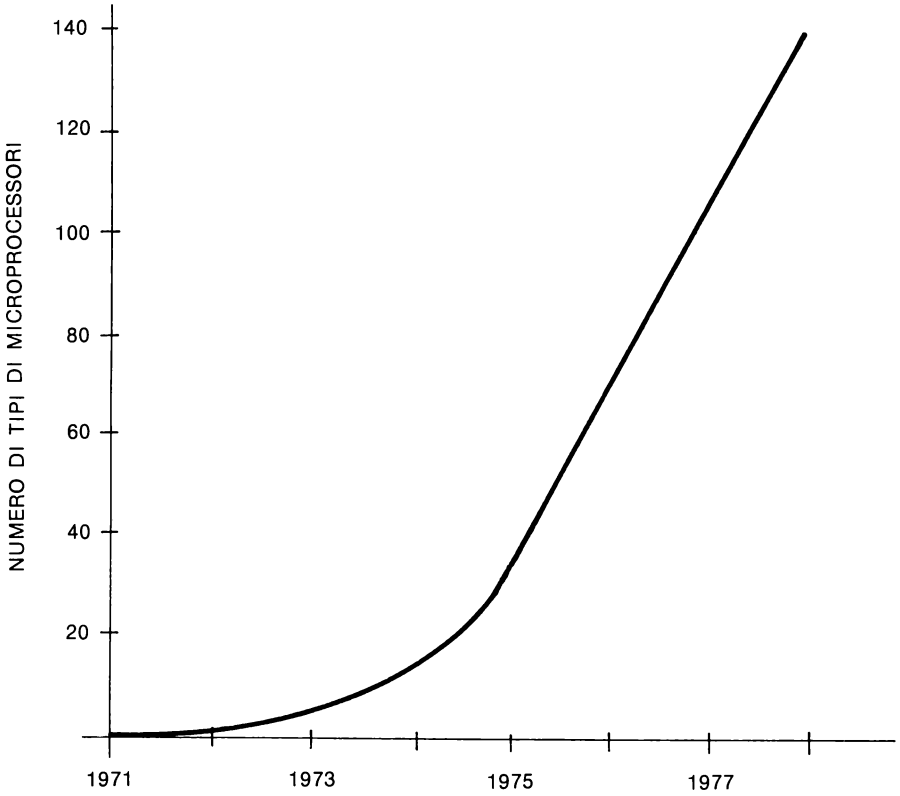


Figura 1.4 — dalla metà degli anni 70 si ha un'esplosione nella crescita dei tipi di microprocessori e dei circuiti d'interfaccia.

Questa tendenza produsse una nuova spinta nel campo della ricerca applicativa: proprio come accadde con i circuiti integrati la Intel e la Texas Instruments arrivarono pressoché insieme al microprocessore.

L'idea di base consisteva nel mettere alcune funzioni extra su un singolo chip; nell'estate del 1969 un'azienda giapponese chiese alla Intel di disegnare circuiti integrati per una nuova serie di calcolatori. Ted Hoff studiò il disegno fornitó dai Giapponesi: ne risultava un complesso piuttosto complicato, con moltissime funzioni logiche distribuite per tutto il calcolatore. Rimase impressionato dalla constatazione che molto poteva essere centralizzato su un unico chip di memoria.

La soluzione di Hoff venne presentata all'azienda giapponese come un modo per restare nei limiti di spesa previsti ed anche come un modo per rendere più elegante il sistema; non accadde più niente fino alla primavera successiva quando arrivò Federico Faggin dalla Fairchild. Mentre Hoff disegnava l'architettura del computer il dottor Faggin progettava i circuiti. A quel tempo i calcolatori erano tipicamente basati su 10 chip, la soluzione di Hoff-Faggin ne richiedeva solo 3. Nel frattempo, alla fine del 1969, arrivò alla Texas Instruments una compagnia texana. Loro pure vennero con un processor su un solo chip e li brevettarono.

Il microprocessore nacque per semplificare i circuiti dei computer e per ridurre i costi ma, in realtà, aprirono nuovi orizzonti al progresso tecnico-scientifico. Gli uomini che progettarono le grandi conquiste sulla strada dei semiconduttori, come i fisici che scoprirono i nuovi principi, le nuove particelle e le nuove forze che abbiamo detto, non hanno lavorato in una torre d'avorio. Erano scienziati che si applicavano a problemi con ragionevoli possibilità di soluzione. Si sono assunti la responsabilità di correre dei rischi, di fare errori, di riconoscerli e di trarne le conseguenze: è di questo che è fatta la strada del progresso.

CAPITOLO 2

L'APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA DEI MICROPROCESSORI

1 — INTRODUZIONE

Accade molto spesso che non sia adeguatamente apprezzato l'effetto del progresso tecnologico sui prodotti che sono a nostra disposizione. Fin dall'epoca della messa in produzione del transistor piatto nel 1959 il numero di elementi in un circuito integrato si è pressoché raddoppiato ogni anno (Figura 2.1), al punto che un sin-

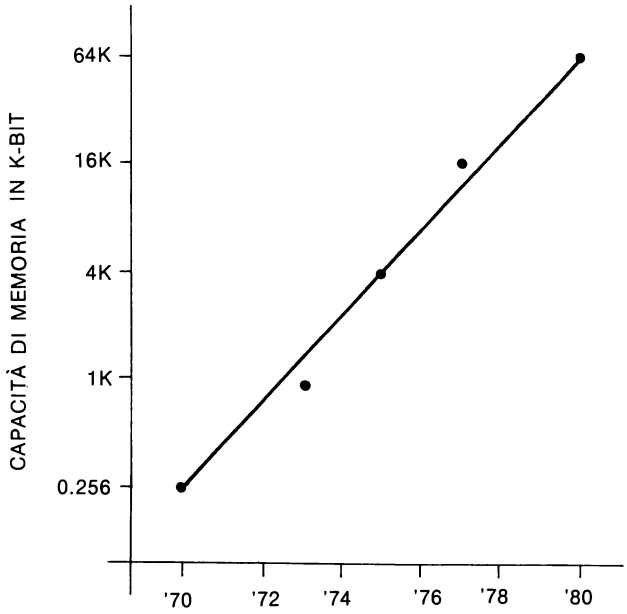


Figura 2.1 — il livello d'integrazione dei circuiti di memoria si raddoppia ogni anno.

golo circuito integrato realizzato su un chip, poco più di mezzo centimetro quadrato, può contenere più componenti elettronici di quelli contenuti nella più complessa apparecchiatura elettronica che avremmo potuto costruire nei primi anni 60.

Il microcomputer di oggi, ad un costo inferiore ai 500 dollari, ha più capacità elaborative di quello della prima generazione di grandi computer elettronici. È varie volte più veloce di ciascuna di queste macchine; ha una memoria molto maggiore; è molto più affidabile e consuma molto meno energia. Inoltre, grazie al crescente livello di integrazione (Figura 2.1), il computer basato sui microprocessori occupa 1/30.000 del volume e costa 1/10.000 rispetto ai grossi predecessori.

Dalla metà del 1981 si è sempre più solidificata la convinzione che i nuovi microcomputer da scrivania, a 32 bit, cambieranno l'aspetto di molti uffici, aziende e centri elettronici. Mentre la Hewlett-Packard ha introdotto il più impressionante microprocessore dei nostri giorni, un chip con 450.000 transistor, gli scienziati e i tecnici hanno progettato chip con una densità molto maggiore, capaci di superare la potenza degli attuali mainframe. Inoltre l'uso di microprocessori a 32 bit nelle telecomunicazioni è così promettente che la Bell sta lavorando attivamente su questa possibilità.

Sembra veramente ieri che abbiamo sostituito le pesanti macchine elettromeccaniche, che si potevano trovare in ogni ufficio, con calcolatori tascabili. Queste nuove macchine e la relativa tecnologia portavano ai nuovi sviluppi degli anni 70 (Figura 2.2). Negli anni 80 lo stesso salto di qualità sarà fatto dai computer, con circuiti ad altissima integrazione, tanto che vi saranno computer su un chip. I personal computer da scrivania diventeranno sempre più potenti; i terminali saranno dotati di un'intelligenza sempre maggiore e sempre meno ingombrante, più di quanto fosse possibile immaginare. Le reti locali renderanno possibile l'integrazione delle funzioni dell'ufficio e della produzione in un unico sistema integrato di computer e di comunicazioni.

Insieme ad una maggiore richiesta di apparecchiature microelettroniche proveniente da ogni tipo di nuove applicazioni, prosegue e si consolida il processo di accumulazione d'esperienza nel loro utilizzo e le maggiori quantità di componenti prodotte per soddisfare la domanda di mercato portano verso successive riduzioni dei costi. A sua volta tutto ciò apre nuovi grandi mercati per queste apparecchiature, il che comporta ulteriori aumenti nei volumi di produzione, una maggiore ricerca verso nuovi sviluppi, costi ancora più bassi a causa della produzione massiva e di metodi ancora più convenienti.

Spesso si dimentica che il punto centrale della traumaticità e turbolenza della tecnologia sta nel fatto che è assolutamente necessaria un'adeguata sovrastruttura per supportare attività in espansione tanto rapida e per garantire che la tendenza dello sviluppo non sarà mai in contrasto con gli obiettivi fissati. Sono necessarie differenti strategie di mercato quando trattiamo di computer realizzati con tecnologie SSI rispetto a quando trattiamo di *micromainframe* a 32 bit. Ritorneremo su questo nel capitolo 4.

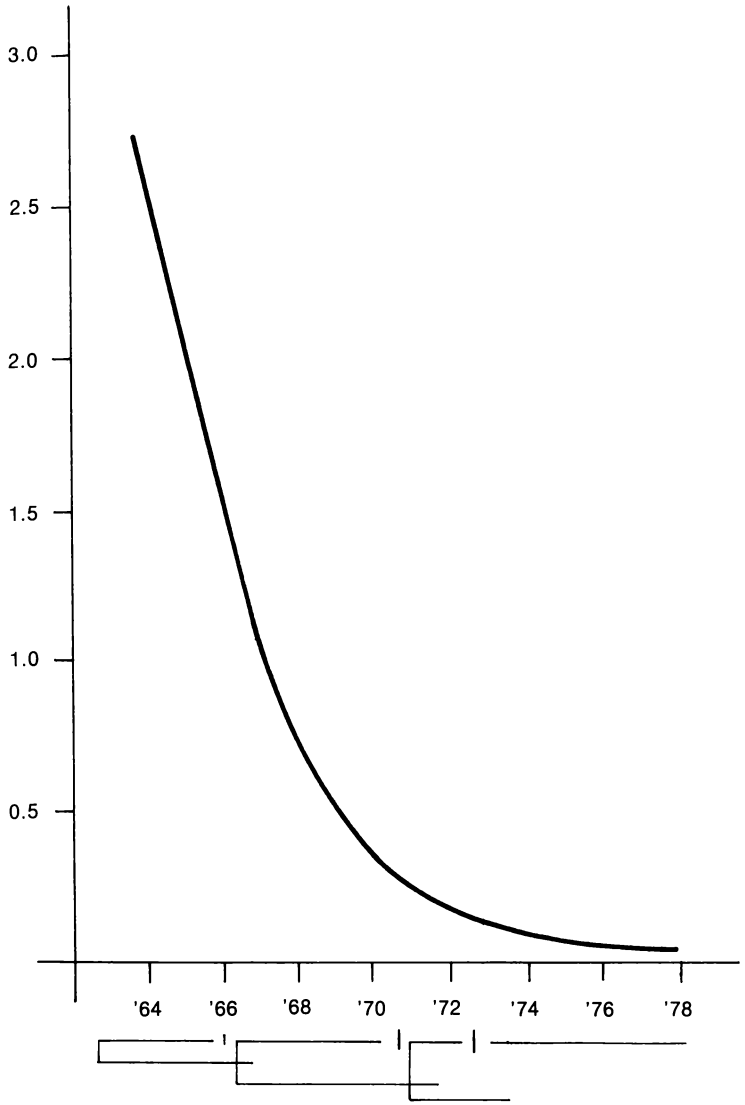


Figura 2.2 — la tendenza del prezzo delle apparecchiature per il calcolo personale visto su una quindicina d'anni.

2 — UNA SFIDA SEMPRE CRESCENTE

Fin dai tempi della scoperta del transistor e della sua applicazione industriale, i principi fisici utilizzati per realizzare componenti con i semiconduttori sono in continua evoluzione. È bene dare un'occhiata indietro, ripercorrendo brevemente l'evolu-

zione tecnologica di cui stiamo raccogliendo oggi i frutti. Alla fine degli anni 60 appare il TTL (Transistor-Transistor Logic): un'integrazione molto limitata che aprì la strada alla media integrazione (MSI).

(n.d.T. — *Si tratta di una specie di logica a circuito bipolare che prende il suo nome dal modo con cui sono interconnessi i transistor componenti, è indicato anche T^2L; esiste anche il T^3L).*

Agli inizi degli anni 70 chip da 1 KBIT raggrupparono su un solo chip componenti elettronici capaci di realizzare una funzione logica ragionevolmente complessa (Figura 2.3), con ciascun chip concentrato in un unico piccolo contenitore. Poco tempo dopo processi di produzione multilivello (come i circuiti stampati a 6 livelli) permisero di realizzare 800 funzioni logiche elementari su una sola piastra.

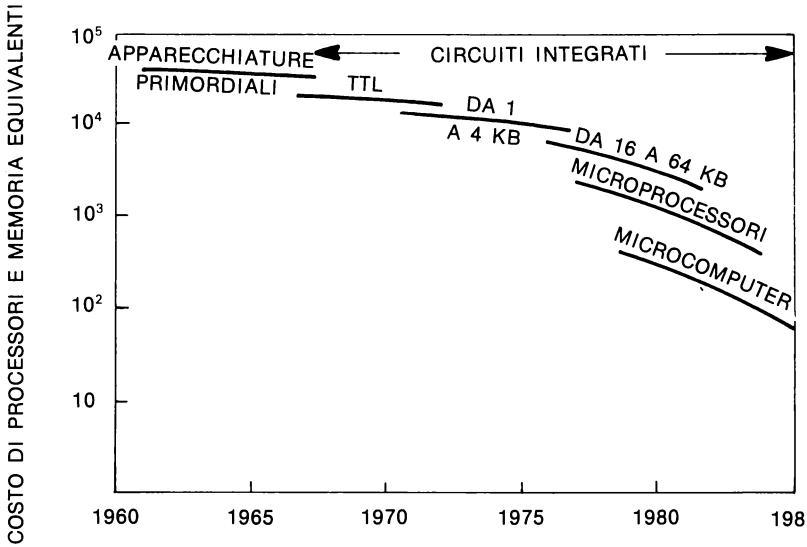


Figura 2.3 — caduta dei prezzi delle memorie per computer; fino a 1 cent per byte con le memorie a 64 K RAM.

Nella metà degli anni 70 la tecnologia MOS (Metal-oxide-silicon) si sostituì al TTL, che ormai aveva raggiunto i suoi limiti. Il livello di integrazione dei componenti è in continuo aumento e con esso l'affidabilità. Dalla fine degli anni 70 la tecnologia MOS ha permesso di ottenere fino a 8.000 funzioni logiche su una piastra, 10 volte quello che si poteva fare agli inizi degli anni 70 e 400 volte quello che si poteva fare alla fine degli anni 60.

La Figura 2.4 si riferisce agli elementi attivi per chip, il gruppo di elementi attivi o AEG, è un circuito elettronico a livello più semplice. Il numero di AEG in un prodotto

ci dà una misura del suo contenuto elettronico. È importante notare che il costo degli AEG è diminuito drasticamente da circa 7 dollari nel 1960 all'equivalente di 1/10 di cent oggi e possiamo aspettarci che questa riduzione dei costi arrivi negli anni 90 all'equivalente di 1/100 di cent.

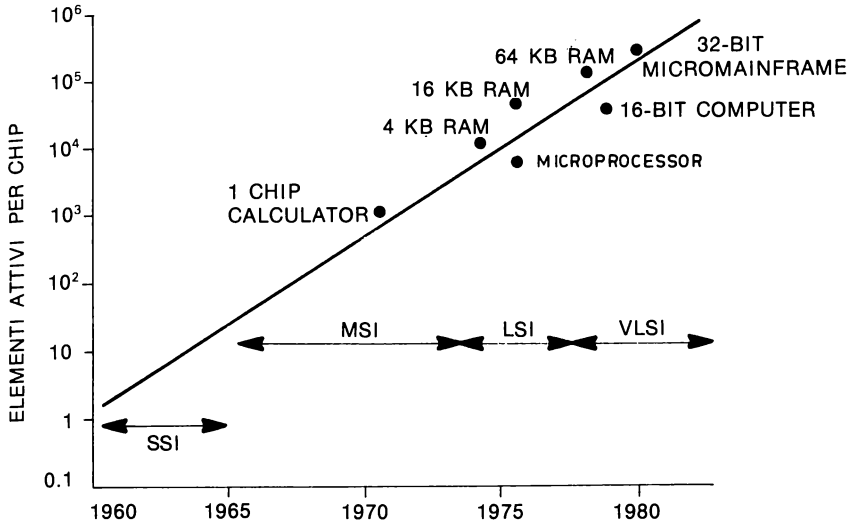


Figura 2.4 — elementi attivi per chip; una linea di sviluppo che parte dalla tecnologia SSI fino ai micromainframe a 32-bit.

Le statistiche enfatizzano ancor più quanto stiamo dicendo. Nel 1970 vi era una media di un centinaio di AEG per famiglia; oggi siamo attorno alla media di un migliaio. È previsto che in pochi anni in molte abitazioni domestiche vi saranno 4.000 AEG, il che è un insieme di circuiti elettronici equivalente al tipico computer gestionale degli anni 50, ad esempio l'IBM 650. Alla fine del decennio la famiglia media avrà a disposizione l'equivalente di mezzo milione di AEG.

Gli impressionanti sviluppi tecnologici che hanno reso possibile tale evoluzione sono stati messi a frutto in vari campi: dal campo aziendale e commerciale al mondo degli elettrodomestici più semplici. Una percentuale del 3% di riduzione del prezzo dei semiconduttori per anno costituisce una tremenda forza trainante per il processo di concorrenza e di mercato e per il processo di innovazione in qualsiasi attività professionale. Considerando la situazione come era 10-12 anni fa e pensando che il numero di utilizzatori di semiconduttori digitali per prodotti di consumo e per le stesse necessità del settore ma non per i computer, era insignificante, c'è da rima-

nere impressionati al vedere che i progettatori ritenevano fuori da un valido rapporto prezzo/prestazioni applicazioni che oggi ben conosciamo.

Mentre si raccolgono i frutti di tutto ciò, spesso si dimentica di apprezzare l'ammontare incredibile di forza lavoro umana richiesta dalla ricerca rivolta ai processi basati sui semiconduttori ed ai conseguenti prodotti. Gli elementi in gioco sono: conoscenza, soldi e tempo. Si stima, per esempio, che la IBM abbia investito fino al 1981 l'incredibile valore di *10 secoli-uomo* nello sforzo di ricerca e sviluppo riguardante la nuova generazione di computer basati sulla tecnologia Josephson; e mancano ancora alcuni anni prima che il prodotto sia pronto.

Ciò che ebbe inizio con due ricercatori nel 1967, oggi interessa 150 scienziati e tecnici, costituendo il più grande progetto alla Yorktown Heights Laboratories. Le spese per le attività di ricerca e sviluppo hanno ormai raggiunto i 100 milioni di dollari, tenendo conto dei salari, della strumentazione, delle risorse elaborative e di altre componenti generali; vi sono ancora problemi tecnici irrisolti o inesplorati. Tuttavia pubblicazioni scientifiche recentemente uscite negli Stati Uniti e in Giappone confermano che il supercomputer è possibile e di conveniente realizzabilità.

La fase critica di questa nuova generazione sta nel riuscire a concentrare circa mille concessioni su un chip di poco più di mezzo centimetro e riuscendo a collegarli insieme in una ridotta versione entro i prossimi 2 anni, anche se la versione completa e le realizzazioni commerciali non saranno disponibili prima della fina degli anni 80. L'obiettivo è un computer di capacità tra i 60 e i 100 mips (milioni d'istruzioni per secondo); questo ordine di grandezza è di 10-12 volte quello annunciato recentemente con il modello 3081, il più potente della serie IBM attuale. Bisogna considerare che il supercomputer potrebbe essere solo un precursore, dal momento che gli scienziati sono propensi a ritenere che la tecnologia è in grado di produrre per gli anni 90 un computer di potenza addirittura superiore alle 25-50 volte quella dell'attuale 3081. Tali macchine saranno molto probabilmente dapprima dedicate a speciali applicazioni scientifiche ma potranno eventualmente anche essere usate per le tradizionali applicazionali gestionali. Tali supercomputer potrebbero costituire la parte emergente di una specie interamente nuova di macchine, il che vale anche per le generazioni di "nano" e "pico-computer". Molte funzioni destinate ad utilizzo comune verranno supportate a livello "nano", piuttosto che dai microprocessori di oggi. Dai primi anni 90 potremmo aspettarci l'equivalente della potenza di un IBM 3033 ottenuta da un solo chip e tali chip saranno progettati da apparecchiature "intelligenti" a partire dai terminali (il cui costo ci si attende che scenda al livello di 1500-2000 dollari per unità) fino ai robot destinati alla produzione e ad una enormità di altre macchine.

È del tutto evidente che una tale disponibilità e distribuzione di potenza elaborativa avrà grandi implicazioni. L'impatto sociale diventa più evidente quando si considera la diffusione ed il ruolo che queste apparecchiature avranno nei momenti della vita comune e se si pensa che il costo di terminali, basati sui microprocessori non supererà il 2% del salario mensile dell'utente medio. Allo stesso tempo le retribuzioni degli specialisti di computer saliranno vertiginosamente in relazione ai costi delle

apparecchiature; s'intensificherà cosi sempre più la tendenza e la pressione verso l'automazione del lavoro, oggi manuale, di programmazione, dotando l'utente finale di linguaggi capaci di metterlo in grado di scrivere i propri programmi applicativi (AP). L'utente potrà essere in grado di sviluppare librerie di applicazioni che andranno dalla consueta elaborazione alla gestione della base di dati e a tutti i problemi di comunicazioni.

3 – SI CREANO DELLE OPPORTUNITÀ

I 30 anni di storia dell'industria dei computer ci hanno lasciato vari e significativi punti fissi: la macchina di Von Neumann, i dischi e i tamburi magnetici, la memoria magnetica a nuclei, i dischi removibili, i videoterminali, i modem digitali, la memoria a sola lettura (ROM) e la memoria ad accesso casuale (RAM), la memoria allo stato solido ed i microprocessori. Lo sviluppo della microelettronica ci evidenzia quale portata e quali nuove opportunità ci possono dare gli investimenti nella ricerca.

Difficilmente poi ci rendiamo conto del fatto che insieme a queste pietre miliari sulla strada percorsa vi sono almeno altrettante "lapidi" come: le memorie olografiche, la cosiddetta "fluid logic", il chip-microfilm digitale, e la logica ternaria. Vi furono prodotti ed esperimenti che ebbero successo ed altri che ebbero breve vita ed anche intensi ma brevissimi successi.

Che parte hanno avuto la fortuna, la preveggenza, la capacità di cogliere il momento giusto, capacità scientifiche superiori, ingegnose realizzazioni, azzeccate promozioni, duro lavoro e invincibile tenacia? Molte delle scoperte non ebbero successo perché dagli esperimenti o dai prototipi non si poteva dedurre una valida messa in produzione. Oppure i risultati dei primi esperimenti erano interpretati con eccessivo ottimismo o, ancora, i costi di produzione non erano convenienti. Vari altri promettenti progetti sono andati fuori strada a causa di eccessivi slittamenti nei programmi fissati, oppure per obiettivi non chiari e per mancanza di un solido e adeguato finanziamento.

La qualità più appariscente di chi ha avuto successo e la più apprezzata, è stata la costanza e la fiducia in ciò che si stava facendo, nonostante le avversità; anzi, spesso, interstarditi proprio da esse.

Kilby, alla Texas Instruments, prima di inventare il circuito integrato, si sforzò di capire la struttura dei costi aziendali e la trovò ben diversa da come di solito doveva essere. L'attività della Texas Instruments era basata sul silicio invece che sul germanio. Il silicio richiede un largo uso di costose apparecchiature e Kilby capì che qualsiasi nuova realizzazione conveniva fosse basata sul silicio. Solo a questa condizione la Texas Instruments avrebbe potuto essere competitiva.

Questo non è il solo caso in cui obiettivi di tipo economico-finanziario influenzano grandemente il salto di qualità, la scoperta ricercata. Il successo non dipende solo dal fatto se si è in grado di realizzare in un solo blocco di silicio vari componenti co-

me transistor, resistori, condensatori; dipende anche da quale è il costo. Il ricercatore deve sempre tener presente che deve aver successo in questi due obiettivi e tener conto di altri tentativi già falliti. La consapevolezza e sensibilità a questi problemi, unitamente ad una grande costanza, sono le maggiori qualità dell'inventore.

Varie volte, nel campo della ricerca e sviluppo sui circuiti integrati, il fallimento fu causato dal fatto che il progetto prese tanto tempo che altre tecnologie scoperte nel frattempo superarono gli stessi obiettivi della ricerca. In molti casi saper cogliere il momento giusto per annunciare il prodotto ha maggiore importanza degli stessi aspetti tecnici. Capita che si facciano stime sbagliate e che i costi siano troppo alti rispetto alla precedente tecnologia. In altri casi accade anche che delle stime sbagliate portino ad autentiche fortune.

Quando i Giapponesi contrattarono per il microprocessore a 4 bit, vi furono in Intel quelli che pensavano non fosse il caso di preoccuparsi in merito alla concessione in esclusiva dei diritti ad un'azienda. Ritenevano che il possibile mercato di microcomputer sarebbe stato di 20.000 computer all'anno e l'Intel ne avrebbe tutt'al più venduti 2.000; un mercato davvero troppo piccolo per preoccuparsene. Ancora, quando nella metà degli anni 50 l'IBM lanciò sul mercato il computer modello 650 (che fu un enorme successo di quell'epoca) stime non ufficiali valutarono che il mercato sarebbe stato di non più di 50 macchine. Errori nella valutazione del mercato potenziale portano solitamente ad apparecchiature nate morte, così accade anche quando i progetti sono maldiretti, sottofinanziati e trascurati dai responsabili.

In altri casi gli specialisti di laboratori realizzano apparecchiature e le annunciano a un pubblico non adeguatamente preparato. In ogni caso gli inventori lasciano immaginare agli utenti come questi nuovi e, a loro dire, magnifici mezzi potrebbero essere proficuamente utilizzati. Gli utenti, messi di fronte ad apparecchiature sconosciute e dotate apparentemente di meravigliose prestazioni che richiedono però un altrettanto sconosciuto periodo di tempo e lavoro per metterle in funzione, tendono a scegliere, e a ragione, quelle prestazioni che già conoscono, e che significa sottoutilizzare e anche sprecare le caratteristiche della macchina.

Il problema è creare nuove apparecchiature per sostituire le vecchie grazie a migliori prestazioni e sostituire strumenti esistenti con sistemi che abbiano un miglior rapporto prezzo/prestazione. Dato per scontato che raramente il ricercatore capace e l'esperto applicativo si trovano nella stessa persona o anche nella stessa azienda, come dobbiamo fare, di cosa dobbiamo tener conto nel valutare i nuovi sviluppi?

La prima cosa che si deve fare è non sottovalutare la forza e la continuità di una tecnologia ormai consolidata e di tutti gli investimenti che sono stati fatti. Le maggiori aziende produttrici di computer hanno portato alla definizione di convenzioni ormai consolidate nel disegno dell'hardware, nell'architettura del software e nella libreria di programmi applicativi. Tutto ciò è protetto da giganteschi investimenti in prodotti, fabbriche, linee di produzione, reti commerciali e strutture d'addestramento. È improbabile che avvenga un mutamento radicale, anche se tecnicamente possibile e promettente qualora richieda una inversione totale sulla strada intrapresa.

La seconda cosa, di pari importanza, da tener presente è che più lo sviluppo è basilare, riguarda cioé aspetti di fondo della scienza e della tecnica, più sono le probabilità di successo.

La chiave di volta della struttura della moderna tecnologia è stata costituita dai semiconduttori e dalla memoria magnetica. È imprudente scommettere contro una di queste; e quando si scontrano con altre tecnologie è meglio evitare di scommettere. Infine tenuto conto che la tecnologia è ancora lontana dal raggiungere i limiti imposti dalle leggi fisiche, successive miniaturizzazioni saranno più probabilmente limitate dalle leggi dell'economia piuttosto che da quelle della fisica.

4 — SAPER SFRUTTARE GLI AVANZAMENTI TECNOLOGICI

Le società hanno bisogno che molti dei loro tecnici e fisici siano affidabili professionisti di ciò che è consolidato, con un occhio aperto agli sviluppi tecnologici. Si possono prevedere le linee di tendenza e quella più significativa per la tecnologia di questo decennio può essere espressa in poche parole: aumento della densità dei circuiti e della memoria; più basso costo per istruzione; costi ridotti per byte di memoria; lenta discesa dei costi di comunicazione; aumento delle bande di comunicazione; attività di programmazione assistita dal computer.

Tutti noi sappiamo ed abbiamo valutato in tutta la sua importanza che durante gli ultimi 10 anni i costi dei circuiti per i grossi sistemi di elaborazione dei dati è stato drasticamente ridotto, e ci si attende che tale tendenza continui. Questa linea di tendenza, che è stata la benvenuta, si è realizzata non senza contrasti con i valori stabiliti e i principi di "ieri". I nuovi prodotti che sono nati si sono praticamente sostituiti a quelli già consolidati; le aziende sono state letteralmente sconvolte da questo fatto.

La Figura 2.5 rappresenta il ciclo di vita di un chip di memoria: da 1 KB (kilobit) ai 64 KB di oggi. È lo stesso andamento del grafico a confermare il principio che l'iniziale introduzione del prodotto tende a mantenere costante il rapporto prezzo/prestazioni; come più concorrenti intervengono per suddividersi il mercato i costi cadono. Il cambiamento più forte però si ha quando viene introdotto un prodotto con migliori funzionalità. È così che il chip da 4 KB eliminò quello da 1 KB; quello da 16 KB a sua volta eliminò quello da 4 KB e così via.

Ovviamente la tendenza alla concentrazione ha conseguenze sulla dimensione e sulla funzionalità dell'unità elaborativa. Con il sistema 360/65 un MIPS costava approssimativamente 4 milioni di dollari. L'IBM 168/AP costa circa 1 milione e mezzo di dollari per MIPS; il modello 3033 ha ridotto il costo a 750 mila dollari; il 3081 seguirà questa tendenza.

La velocità di commutazione è un'altra fondamentale considerazione. Il modello più alto della linea IBM, il 3081 ha un ciclo di un miliardesimo di secondo ed ha prestazioni interne pari circa al doppio del processore 3033 IBM. Sono due distinti processori che operano accoppiati sia per motivi di prestazioni che di affidabilità.

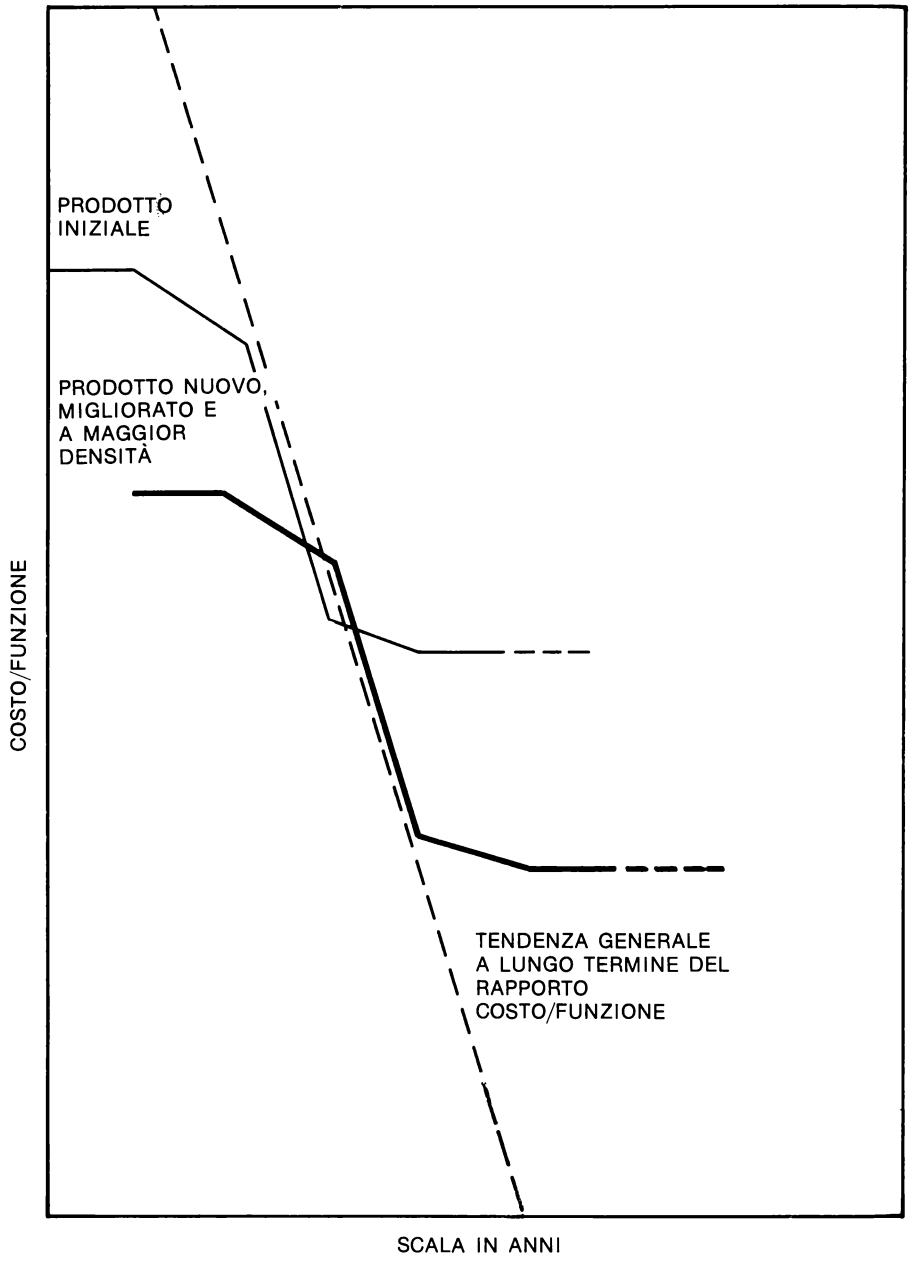


Figura 2.5 — ciclo di vita di un chip di memoria come funzione del tempo e del rapporto costo/prestazioni.

La Figura 2.6 mostra la curva di crescita nella velocità di commutazione che ha caratterizzato per 30 anni i computer. Contribuisce alla velocità di calcolo la maggiore densità dei circuiti, circa 750.000 circuiti logici sono contenuti in 10 cm.^{3}, il che aumenta la velocità del computer grazie alla diminuzione della distanza che i segnali elettrici devono percorrere.

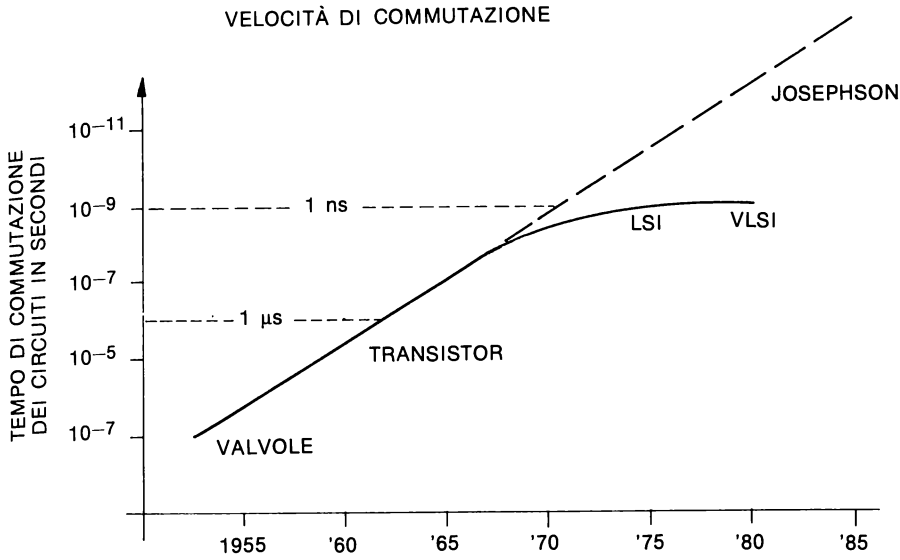


Figura 2.6 — curva di crescita nella velocità di commutazione.

Sviluppi simili caratterizzano la memoria ad alta velocità. La dimensione della memoria centrale è mediamente aumentata di molto e lo sviluppo tende a continuare; nel 1965 un megabyte di memoria era una "grossa" memoria; nel 1981 la dimensione della memoria centrale è aumentata a 8-12 megabyte. Anche la densità di registrazione e la velocità di trasferimento di varie unità disco sono molto cambiate negli anni 70. L'alta densità di registrazione e una molto vasta memoria centrale possono rivoluzionare l'elaborazione: in complessi ambienti applicativi tutto ciò significa minor necessità di "cancellare" risorse di sistema, quali programmi, basi di dati, transazioni e strutture di reti. Ogni nuova applicazione richiede maggiori quantità di apparecchiature basate sulla microelettronica; tali applicazioni garantiscono anche che si sta acquisendo più esperienza, orientata a successivi sviluppi tecnologici e successive riduzioni di costi. A sua volta tutto ciò apre nuovi mercati per tali apparecchiature, per le quali i componenti elettronici basati sui semiconduttori rappresentano una piccola parte del costo complessivo. Nelle stesse apparecchiature elettroniche il valore dei circuiti integrati è meno del 10%: un minicomputer da 10 mila dollari contiene meno di 1000 dollari di circuiti integrati; una televisione da 300 dollari contiene circuiti integrati per meno di 30 dollari. Gran parte dell'attuale indu-

stria elettronica mondiale, il che significa considerare un fatturato dell'ordine di milioni di miliardi di lire, dipende in un certo modo dai circuiti integrati.

La sostituzione di apparecchiature microelettriche con componenti discreti riduce i costi non solo perché le apparecchiature stesse sono meno care ma anche per una serie di altre ragioni.

Prima di tutto in un circuito integrato sono concentrate molte delle interconnessioni che erano prima necessarie; il che significa risparmiare lavoro e materiali.

Come secondo punto bisogna considerare che le interconnessioni dei circuiti integrati sono molto più affidabili dei punti di saldatura o dei connettori; questo comporta risparmi nella manutenzione che è oggi il punto dolente dei sistemi elettronici.

Come terza cosa si deve ricordare che i circuiti integrati sono molto più piccoli e consumano molta meno energia dei componenti che essi hanno sostituito; per questo è possibile risparmiare in strutture di supporto come gli armadietti e le rastrelliere per le piastre e così accade per i trasformatori e per le apparecchiature di raffreddamento. La quarta osservazione riguarda la minor necessità di verifiche e test intermedi, nel corso della produzione dal momento che il corretto funzionamento dei circuiti integrati è comunque stato assicurato. Infine bisogna notare che l'utente finale deve mettere a disposizione meno spazio negli ambienti e preoccuparsi molto meno per l'impianto dell'aria condizionata; così del resto è anche per i problemi operativi. Le automobili, i forni a raggi infrarossi, le macchine da cucire, quelle da lavare e i sistemi per la cura del giardino hanno costituito un campo favorevole all'introduzione di microprocessori. Per ben valutare il contributo dei microprocessori dobbiamo considerare le apparecchiature che li utilizzano come macchine in grado di offrire moltissime nuove capacità; per essere in grado di trarne tutti i vantaggi possibili dobbiamo essere molto critici e cauti con le banalizzazioni che riducono il problema agli esempi più semplici che possiamo pensare. I semiconduttori non si sostituiscono all'ingegnosità.

L'uso di microprocessori può essere un valido approccio in una strategia industriale tesa al profitto o anche alla sola sopravvivenza, sia per iniziative aggressive o difensive; sia che la nostra linea base di prodotti sia superata da una concorrenza che ha consolidato una tecnica migliore oppure no. Allo stato attuale degli sviluppi è ancora relativamente facile entrare nel gioco consistente nel migliorare prodotti o inventarne nuovi, usando i microprocessori. Ecco perché è diventato così semplice per delle piccole aziende invadere mercati esistenti grazie a ingegnose realizzazioni; ma i tempi stanno cambiando.

5 — UN RUOLO PER LA MICROELETTRONICA

Insieme all'aumento di complessità dei "micro", di cui il nuovo "micromainframe" a 32-bit della Intel su un solo chip è un buon esempio, cresce anche la necessità di tecniche e conoscenze sofisticate così come l'esigenza di risorse fisiche basilari. I costi d'introduzione hanno già cominciato a salire. Inoltre dove il "micro" è applicato a un prodotto ormai consolidato e la risultante combinazione comporta una separazione piuttosto radicale dalle abitudini (per esempio le macchine da cucire), il

progetto ha bisogno di una salda conduzione da parte dell'alta direzione. In questi casi è necessario un certo isolamento dal resto dell'azienda nel periodo di progettazione.

Un tale comportamento è consigliabile sia per proteggere la nuova idea da reazioni negative all'interno della stessa azienda, sia per evitare che il prodotto sia svelato all'esterno prima del tempo.

In ogni gruppo di sviluppo dovrebbero essere presenti due tipi fondamentali di persone; una che conosce tutto sul prodotto o il processo nel quale si deve inserire l'applicazione del "micro". Questa persona deve avere esperienza in varie discipline tecniche e deve conoscere le tecnologie dell'elettronica e dei microprocessori. Il secondo tipo di persona necessaria è il progettatore di software: molto del successo a lungo termine del prodotto dipende dall'efficienza, versatilità ed affidabilità del software o firmware previsto.

Una strategia, che è stata seguita con buoni risultati da molte aziende, consiste nel mettere gran parte della sofisticazione del prodotto nella micromemoria invece che nei componenti meccanici. Richiedendo il minimo possibile alle parti meccaniche del prodotto le modifiche progettuali possono essere realizzate rapidamente ed a un costo relativamente basso.

L'area che presenta maggiori difficoltà nella progettazione è quella riguardante le interfacce tra il "micro" e le parti meccaniche del prodotto. A questo riguardo molte aziende fanno sapere che la formazione del proprio attuale personale in elettronica è stata la strada più efficiente rispetto al tentativo di inserire esperti in micro e familiarizzarli con le esigenze dei prodotti e dei loro utenti.

Tra aziende con linee di prodotti ormai consolidati è presente la comune strategia di mercato consistente nel prevedere al più alto livello della linea versioni controllate da microprocessori; questo in concorrenza con la tradizionale offerta.

Questo è il tipo di approccio più logico dal momento che i "micro" permettono di incorporare ed integrare nuove funzionalità; i maggiori margini di profitto che si ricavano aiutano a sovvenzionare ulteriori sviluppi ed applicazioni che diverranno necessari quando la concorrenza si farà pressante.

Un altro vantaggio della strategia rivolta ad usare microprocessori nella fascia più alta della propria linea di produzione sta nel fatto che il livello dei prezzi di tale fascia spinge l'azienda ad evitare di riconsiderare la progettazione troppo presto; e questo avviene limitando le richieste mentre si sta avviando la produzione effettiva e mentre si stanno risolvendo i problemi del prodotto ancora esistenti. Un'altra ragione sta nel fatto che i microprocessori hanno un evidente impatto sulla pianificazione del prodotto e sul suo stesso ciclo di vita. Il loro avvento finisce per rendere più breve il ciclo di vita dei prodotti e quindi sempre più necessario un ripagamento rapido dei costi di sviluppo e degli strumenti che sono stati necessari.

Per quanto riguarda la pianificazione, valide lezioni possono essere imparate, siano esse positive o negative, da quello che altre aziende hanno fatto con la tecnologia più avanzata. I microprocessori non sono certo l'unica meraviglia della tecnologia che negli ultimi 10-12 anni ha cambiato la struttura dei prodotti e dell'industria.

Nella prima metà degli anni 70 gli orologi elettronici erano il "prodotto miracolo" sul quale si sono costruite fortune e disastri: la crescita di varie società è rimasta improvvisamente stracciata quando i giapponesi ridussero il prezzo dell'assemblaggio del quarzo da circa 6 dollari a 50 cent a pezzo, riducendo il lavoro di trattamento, fissandolo alla rivestitura con uno speciale cemento invece che con connessioni elastiche.

La riduzione dei costi è però un'arma a doppio taglio ed il lettore farà bene a ricordare che vi sono sia rischi che opportunità nel fatto che la caratteristica più sorprendente dell'industria della microelettronica sia stata una continua e persistente discesa del costo di certe funzionalità elettroniche. Il costo di una calcolatrice tascabile è sceso, negli ultimi dieci anni, di un fattore di 100 volte; però chi oggi primeggia nel mercato non sono necessariamente quelli che hanno fatto partire la valanga.

Una parte del processo di rapida discesa dei costi può essere spiegata in termini di apprendimento ed esperienza: più un'azienda accumula tali qualità più diventa efficiente ed anche competitiva.

L'elenco delle aziende che hanno saputo sopravvivere tipicamente comprende quelle industrie che non solo sanno come usare la tecnologia ma anche sono dotate di una direzione che sa ridurre e controllare i costi.

Molte industrie riducono i loro costi del 20-30% ogni volta che la loro produzione raddoppia. Questo rimane vero anche per la microelettronica, ma non è di per sé sufficiente a spiegare il fenomeno. Se esaminiamo i dati dell'industria dei semiconduttori, troviamo che i costi per i circuiti integrati sono scesi con una media del 28% ad ogni raddoppio della capacità di produzione; una riduzione dei costi ben più impressionante ha però interessato tutte quelle aziende che hanno saputo e sanno come trarre tutti i vantaggi possibili dall'avanzamento della tecnologia.

Infatti il costo di certe funzionalità elettroniche ha avuto una continua discesa, anche più rapida di quella riguardante i circuiti integrati, poiché la complessità dei circuiti è aumentata contemporaneamente alla discesa dei costi. Se si assume che un transistor rappresenta una funzione circuitale che può essere comparata alla connessione logica o ad un bit di memoria in un circuito integrato, allora si ha che l'utilizzo annuale è raddoppiato di 11 volte negli ultimi 17 anni; e questo mettendo i produttori di circuiti in condizione di assorbire drastiche riduzioni di costo e realizzare profitti.

Concludendo, se guardiamo ai vantaggi che si potrebbero ottenere con un avveduto utilizzo della tecnologia dei microprocessori, dobbiamo elencare: economizzazione ottenuta tramite specializzazione; possibilità di evitare complessi e grandi sottosistemi; programmazione più semplice; minor tempo necessario alla programmazione; valida base per separare la parte programmazione da quella riguardante le comunicazioni e le basi di dati; suddivisione dei dati attraverso interfacce migliori e specializzate; possibilità di realizzare l'uso di differenti processori suddividibili; flessibilità tale da poter servire sia località centrali che remote; maggiore affidabilità e sicurezza; più semplice trasformabilità ed adattabilità. Vi sono però dei prerequisiti a tali vantaggi e li vedremo nel capitolo seguente.

CAPITOLO 3

L'ARCHITETTURA DELLE APPARECCHIATURE

1 – INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi vent'anni lo sviluppo dei circuiti microelettronici ha progressivamente aumentato la qualità e la disponibilità di transistor sempre meno cari. Come risultato le configurazioni circuitali si sono avvantaggiate dello sviluppo della tecnologia e ne hanno anche indicato i limiti. Questo è un po' il senso della storia dell'evoluzione dei circuiti logici digitali basati sulla tecnologia dei semiconduttori; si è trattato di uno sviluppo verso l'uso dei transistor per pressoché tutte le funzioni connesse ai circuiti elettronici.

Il processo di evoluzione dei microcircuiti è stato continuo negli anni. Nella metà degli anni 50 con il TRL (Transistor Resistor Logic) l'attenzione era tutta sul numero di resistori poiché questi erano i componenti meno cari: agli inizi degli anni 60 con il DTL (Diode Transistor Logic) si aumentò la capacità sostituendo i diodi semiconduttori con i resistori; dalla fine degli anni 60 si sviluppò la RTL (Resistor Transistor Logic) come la prima vera tecnologia microelettronica. Ogni ingresso venne dotato di un transistor e si ridusse di molto la necessità di resistori.

Negli anni 70 la TTL (Transistor Transistor Logic) divenne la forma comune della tecnologia bipolare microelettronica: i transistor ora erano molti e connessi direttamente tra di loro. Le tecniche scoperte e adottate nella costruzione di connessioni per circuiti logici digitali sono state anche applicate ad altri tipi di apparecchiature microelettroniche. Circuiti per il trattamento di segnali analogici, indispensabili in apparecchiature come il telefono e la radio, cominciarono ad essere costruiti in formato microelettronico.

Dalla fine degli anni 70 le aziende arrivarono alla conclusione che è più conveniente gestire segnali analogici convertendoli in formato digitale per poi trattarli e quando necessario riconvertirli in forma analogica. In questo modo i concentratissimi prodotti della microelettronica allargarono i propri orizzonti applicativi ben al di là

degli obiettivi originari dei progettatori. Per i prossimi anni 80 l'inventiva e la creatività si esprimeranno nella combinazione di settori della conoscenza precedentemente separati, usando la miglior tecnologia a nostra disposizione e semplificando il più possibile il problema con cui si ha a che fare.

2 — CONSIDERANDO I MICROCIRCUITI

Un'apparecchiatura elettronica è fatta di elementi circuitali attivi, come i transistor, in combinazione tra loro, e da componenti passivi come i resistori e i condensatori. Un componente attivo può cambiare il proprio stato in risposta ad un segnale esterno; i resistori e i condensatori non hanno questa capacità.

Era ormai pratica universalmente consolidata quella di costruire ciascun componente separatamente e quindi assemblare l'apparecchiatura completa collegando le parti tra loro con conduttori metallici. L'avvento dei circuiti microelettronici non ha, almeno in gran parte, cambiato la natura delle unità funzionali fondamentali; la differenza più grande sta nel fatto che tutti questi elementi e le loro interconnessioni sono ora realizzati su un singolo strato attraverso un flusso continuo di operazioni.

La struttura sottostante di un circuito di silicio è tipicamente un cristallo di silicio oppure di gallio arsenico. Questi materiali sono usati per le loro caratteristiche fisiche ed elettriche. Poiché il materiale primario dei circuiti microelettronici è il silicio, lo sviluppo della stessa microelettronica è dipeso in larga misura dalle tecniche e dalle scoperte per realizzare le varie unità funzionali *sopra* o *dentro* un cristallo di questo materiale semiconduttore. Dal momento che la progettazione e la produzione sono un tutt'uno dal punto di vista tecnologico sono stati individuati metodi precisi per la fabbricazione di molte delle apparecchiature standard.

I nuovi procedimenti presentano necessità di tipo differente; non c'è quindi da sorprendersi che il tipo di progettazione delle prime tecnologie non sia stato ripreso e miniaturizzato. Il cambiamento nelle dimensioni comportò un cambiamento per quanto riguardava le risorse disponibili al progettatore e vi erano di conseguenza alternative nel modo con cui tali risorse potevano essere disposte. Il passo più importante nella progettazione sta nel fatto che un numero crescente di funzioni è stato realizzato con quegli elementi circuitali che sono fabbricati più facilmente nel silicio e che hanno le migliori prestazioni: i transistor. Il silicio è ben lontano dall'essere un materiale ideale per ogni funzione; si possono ottenere solo modesti valori di resistenza e di capacità. In pratica poi non si possono per niente realizzare induttori microelettronici. Il silicio però è un materiale che non ha eguali per la fabbricazione di transistor e l'abbondanza di questi componenti attivi nelle apparecchiature microelettroniche è dovuto allo sforzo di limitare al massimo gli elementi passivi. Non c'è dunque da meravigliarsi che i progettatori di circuiti elettronici abbiano messo particolare attenzione sulla *transistor logic* e che si siano sforzati duramente di aumentare la densità di *bits and gates* su un solo chip. Lo sviluppo dei circuiti integrati degli

ultimi 20 anni può essere ricostruito con i risultati degli sforzi scientifici per aumentare la densità e della relativa tecnologia che ha reso possibile un alto impaccamento su un solo chip: tra la fine degli anni 60 e gli inizi degli anni 70 erano disponibili dapprima i chip a 1 KB e poi quelli a 4 KB, nella metà degli anni 70 abbiamo avuto i chip da 4 a 16 KB; alla fine degli anni 70 i chip da 16 a 64 KB. Agli inizi degli anni 80 sono stati sperimentati chip da 128 KB; verso la fine degli anni 80 avremo, molto probabilmente, chip da 512 KB e nei primi anni 90 c'è da attendersi il chip da un megabite (2^{23} bit) o anche da 2 megabite..

Possiamo prevedere di arrivare a 50.000 circuiti logici per chip negli anni 80 e dopo 10 anni giungere ai 250.000-500.000 circuiti logici per chip. Questi valori, su un chip, superano il numero totale di connessioni presenti nei computer attualmente disponibili, il che ci dà un'idea degli enormi progressi che i progettatori possono raggiungere grazie a questa colossale potenza elaborativa.

3 – LSI – LARGE SCALE INTEGRATION

Una proprietà che fa i transistor indispensabili nella microelettronica è la loro capacità di guadagno o amplificazione. Questo può essere meglio compreso considerando gli elementi circuitali sia attivi che passivi come delle "scatole chiuse" il cui comportamento è messo in evidenza solo con un protocollo di ingresso/uscita dei segnali. Un segnale messo in ingresso ad una "scatola chiusa" contenente un resistore, un condensatore o un induttore, può essere trasformato in vari modi. Il segnale subisce immancabilmente una riduzione di potenza ma una di quelle "scatole chiuse" contenente un transistor può trasformare un segnale debole in segnale forte.

I due tipi principali di transistor, bipolari e Mosfet (Metal Oxyde Semiconductor/Field Effect Transistor) dividono in due grandi famiglie i circuiti microelettronici. Le unità bipolari sono state le prime ad essere sviluppate e si è assistito ad una grande evoluzione e varietà di tecnologie bipolari. Col tempo però ci si rese conto che le più alte densità di componenti circuitali pr chip avrebbero potuto essere raggiunte con la tecnologia Mosfet, anche se questo non significa affatto che la tecnologia bipolare sia obsoleta. La Figura 3.1 illustra l'evoluzione della tecnologia MOS (sia come è attualmente sia come è nelle previsioni) in un periodo di 15 anni. La Figura 3.2 confronta la tecnologia MOS e bipolare con altri mezzi di memorizzazione, in termini di tempo di accesso e costo (in cent per bit).

In generale si considera una tecnologia per l'integrazione circuitale capace di mettere più di 1000 connessioni in un chip, una tecnologia ad alta integrazione (LSI), mentre per l'attuale tecnologia che arriva ad integrare 64 o più KB si parla di altissima integrazione (VLSI).

Entrambe le tecnologie LSI e VLSI hanno avuto una rapida influenza sulla progettazione dei mini e dei micro computer, molto di più di quanto sia accaduto con i midi

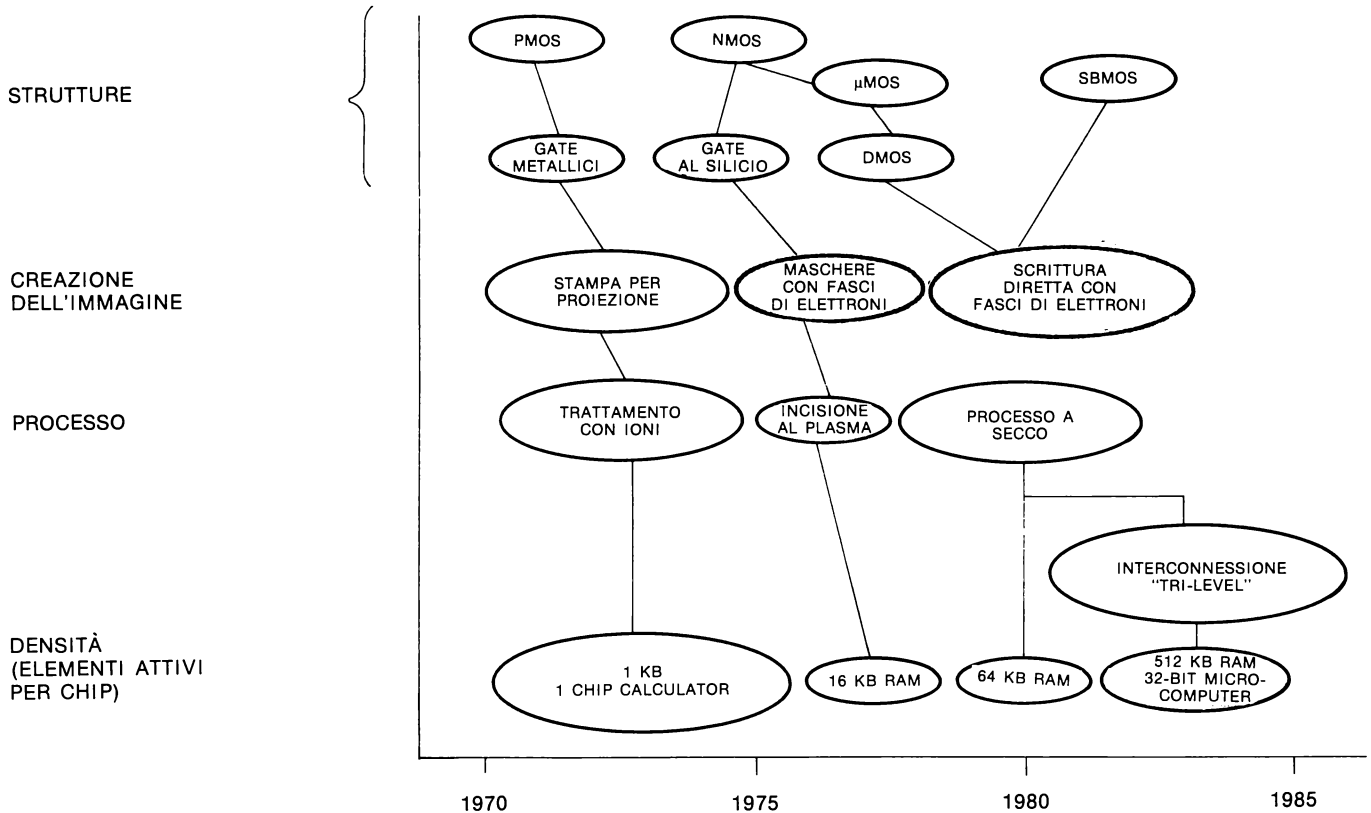
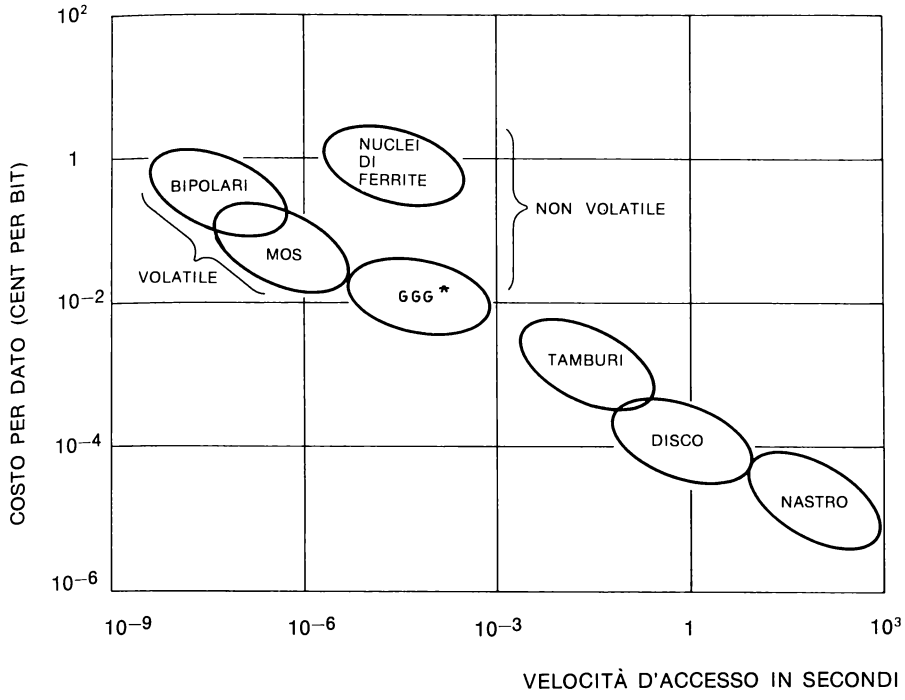


Figura 3.1 — evoluzione della tecnologia MOS, quale è attualmente e quale è prevista nell'arco di una quindicina d'anni.



* COMPOSTI BASATI SUL GALLIO

Figura 3.2 — confronto tra le tecnologie MOS e bipolari con altre soluzioni per costituire la memoria dei computer, in termini di tempo di accesso e di costo per memorizzazione.

e maxi (mainframe), a causa delle funzioni specializzate che sono necessarie a questi ultimi.

In questo senso la tecnologia VLSI ha un maggiore impatto sulla fascia medio-bassa piuttosto che su quella alta; in ogni caso le regole di progettazione stanno cambiando e così il nostro modo di valutare le prestazioni e le capacità dei computer. I micro computer stanno superando i mini nella suddivisione del mercato e si stanno ritagliando uno spazio significativo per quanto riguarda sia le applicazioni di tipo generale e gestionale sia quelle di tipo specialistico. Questi sviluppi avranno sicuramente impatti sia sui computer che sulle comunicazioni. Nei prossimi dieci anni si avranno grandi cambiamenti nella progettazione dei maxicomputer, grazie a chip di densità da 1 a 2 MB; inoltre per una distribuzione veramente completa della memoria, per la capacità di integrare su un solo chip soluzioni analogiche e digitali, per il modo diverso con cui i microprocessori da 32-bit ci fanno considerare i mainframe.

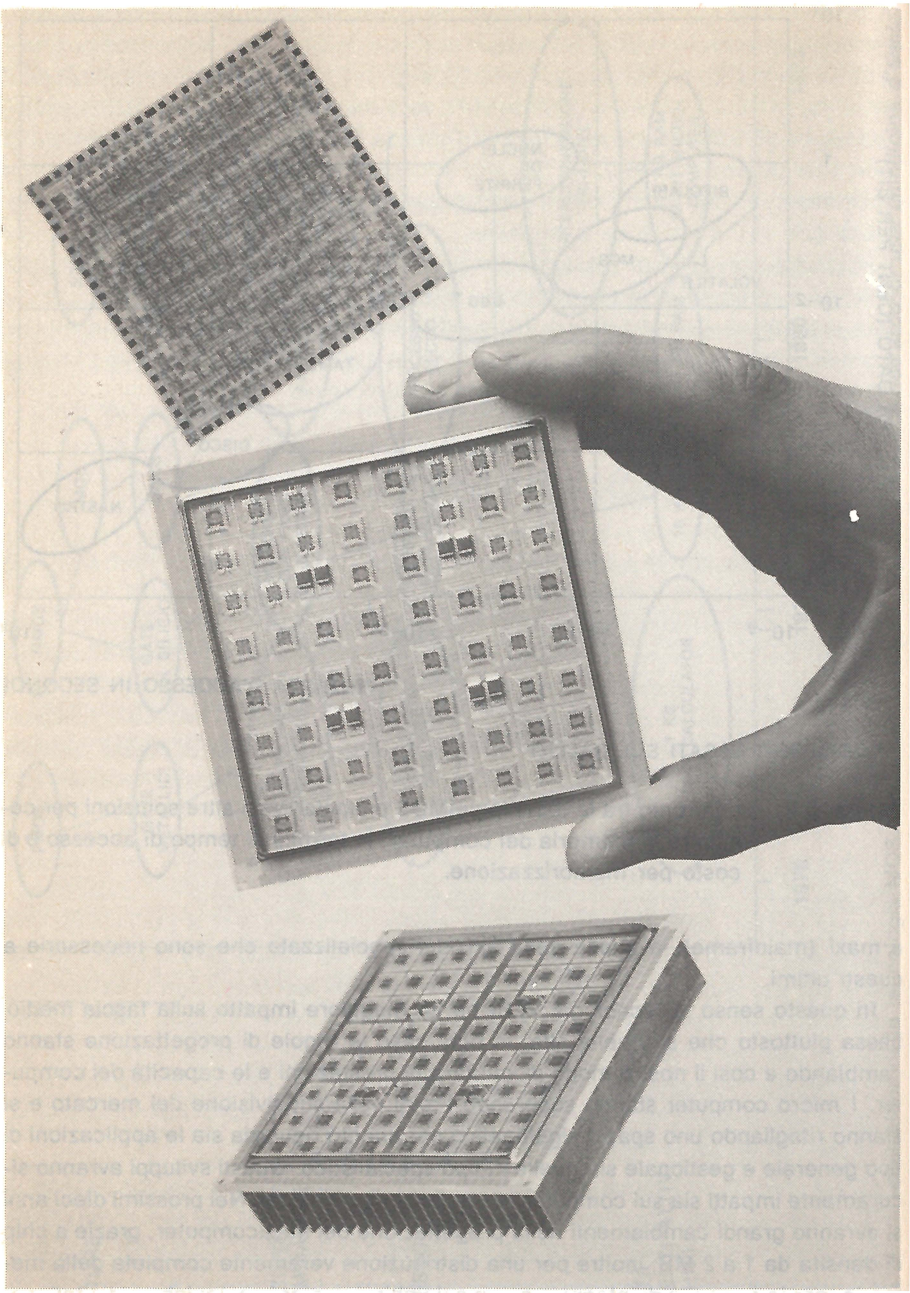


Figura 3.3 — uso dei chip basati sulla tecnologia LSI, dal chip componente alla piastra con i circuiti montati.

Anche se la progettazione ed il disegno stanno facendo i grandi passi che abbiamo detto, per arrivare a raggiungere gli effetti ultimi, la sottostruttura dovrà ancora cambiare molto. Ne è un esempio la tecnologia del microimpaccamento. Il numero di collegamenti esterni per ogni impaccamento aumenta rapidamente. In pochi anni raggiungeranno quota 100 attraverso le fasi intermedie di 48 e 64. L'impaccamento è aumentato ogni 2-5 anni. Anche la potenza necessaria ed i costi della struttura devono essere ridotti; infatti sono i principali problemi che impediscono altri sviluppi e fra pochi anni il loro costo supererà quello dello stesso computer.

La risposta è il *microimpaccamento,* una tecnica di assemblaggio che permette la connessione diretta di circuiti integrati ed una automazione della produzione che va dall'iniziale struttura al silicio che supporta i chip fino all'assemblaggio finale sulla piastra senza richiedere la classica "ingabbiatura". Mentre le innovazioni tecniche continuano in aree come la tecnologia LSI, la tecnologia dei microprocessori e dell'impaccamento, i computer offrono un migliore rapporto prezzo/prestazioni. La Figura 3.3 mostra l'uso della tecnologia LSI nel montaggio di piastre circuitali.

Lo sforzo per ottenere migliori prestazioni tecniche e una sempre maggiore economicità ha portato ad un'alta interconnessione tra i processi di produzione ed i prodotti stessi; questo vale sia per le caratteristiche fisiche che per quelle logiche. Un approccio consiste nel costruire circuiti molto semplici e molto piccoli in base alla considerazione che la stragrande maggioranza saranno validi. Sembra ragionevole ma non è necessariamente la soluzione migliore.

I piccoli circuiti costano molto poco: semplici circuiti logici sono disponibili a meno di 10 cent per unità. Bisogna però tener conto anche dei costi per i test, l'impaccamento e l'assemblaggio dei circuiti in un sistema elettronico completo. Infatti in vari sistemi complessi si raggiungono i costi più bassi con i circuiti più costosi e più grandi: costi cioé più vicini ai 10 dollari per unità piuttosto che ai 10 cent. Se si usassero circuiti meno potenti e meno costosi, ne sarebbero necessari molti di più per costruire il sistema ed i costi di test e di assemblaggio tenderebbero a salire. Parleremo di questo nel capitolo 6 quando esamineremo il processo di produzione.

4 — LE FUNZIONI SUPPORTATE DAL MICROPROCESSORE

Vi sono alcune concezioni di fondo nel modo di progettare i chip che stanno subendo radicali cambiamenti, il che ci costringe a meditare in merito alla coerenza delle nostre idee con ciò che la tecnologia mette a disposizione. Se consideriamo attentamente le funzioni che stanno evolvendo in ogni tipo di componente possiamo renderci conto immediatamente della trasformazione in corso, che è forse più rapida di quella che ci ha portato ai primi circuiti integrati: vi sono funzioni complesse sviluppate all'interno di una singola unità fisica e questo mentre i processi tecnologici sono in corso di affinamento.

Cominciamo dal principio. Ogni tipo di realizzazione di circuiti logici necessita di: flessibilità, velocità, disponibilità di funzioni complesse, alto livello di immunità da interferenze, mancanza di disturbi generati internamente, operabilità in un ampio in-

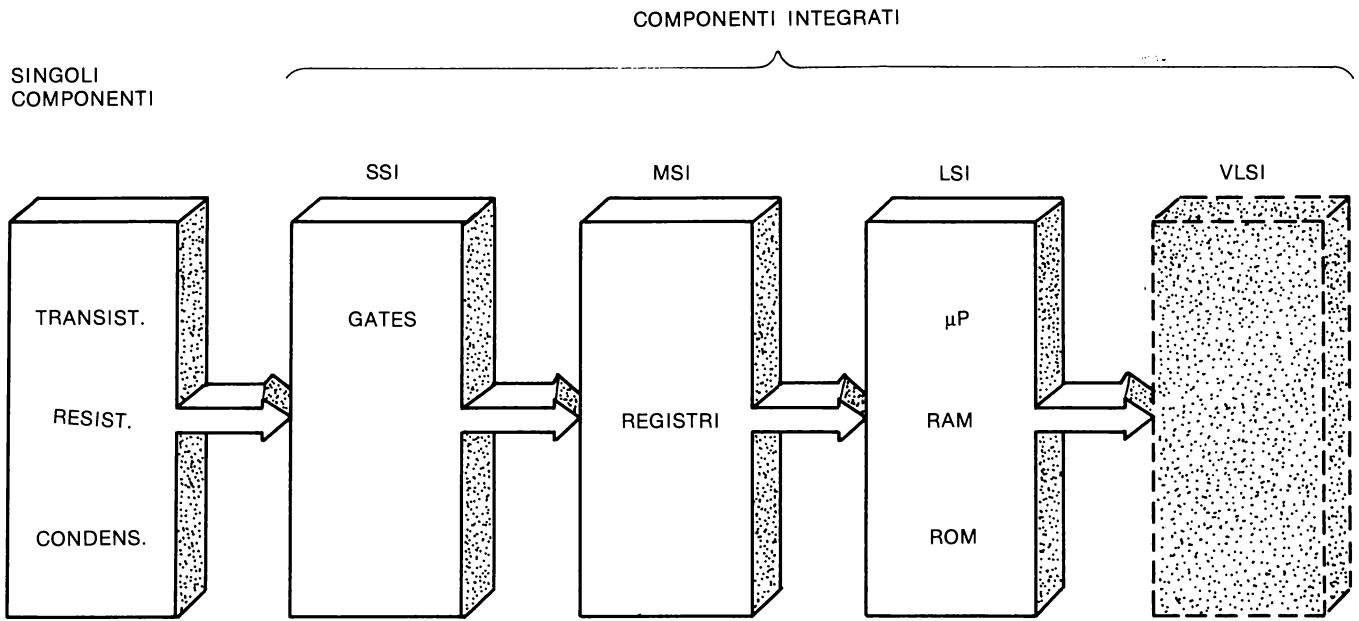


Figura 3.4 — evoluzione della tecnologia passo a passo dai singoli componenti ai circuiti integrati; attraverso la tecnologia SSI, MSI e LSI fino all'attuale VLSI.

tervallo di temperatura, basso consumo di energia e basso costo. Tutte queste sono necessità funzionali connesse alle finalità della nuova generazione di microprocessori: rendere possibile l'implementazione di nuove funzioni a partire da quelle aritmetiche fino a quelle logiche e di "databasing"; la programmazione e la manutenzione; diminuire il costo, sempre in aumento, del lavoro operativo di un centro di computer.

Ma che cosa si intende esattamente con il termine "microprocessore"? Il microprocessore è tipicamente un'apparecchiatura su un chip da 250 mm^2. Per "processore" si intende un insieme di connessioni logiche, registri, unità logiche ed aritmetiche. Tale insieme circuitale può essere configurato per operare come un computer aggiungendo memoria nello stesso chip o esternamente.

Questo processo di integrazione di capacità segue quello che ha caratterizzato l'evoluzione tecnologica dei singoli componenti di circuiti integrati (Figura 3.4). Con il passaggio dall'integrazione SSI (small scale integration) a quella media (LSI) ed alta (VLSI) lo sviluppo del microprocessore fu di fatto "inevitabile" e ne abbiamo delineato la storia nel capitolo 1. Il progetto di un completo microprocessore solitamente comprenderà quattro componenti:

1. CPU (Central Processor Unit),
2. la memoria,
3. le interfacce verso la periferia, e
4. i canali.

Con il microprocessore la CPU non è più la componente centrale del sistema: è uno dei sottosistemi come la memoria, le interfacce ed i canali. Inoltre il *software* può essere visto come un altro sottosistema, considerandolo come una *progettazione differita di hardware.*

Il microprocessore può essere visto come una "scatola chiusa" (Figura 3.5) a cui sono applicati tre insiemi fondamentali di funzioni: i dati, gli indirizzi di collegamento ed i controlli (come: reset, interrupt-request, read/write). Se apriamo questa "scatola chiusa" per guardare la struttura interna vedremo che dati, indirizzi di collegamento e controlli sono serviti da dei "bus". Il "cuore" è costituito dalla ALU (arithmetic and logical unit) mentre la ROM (read only memory) e la RAM (random access memory) sono unità egualmente importantissime; l'interfaccia con le periferie permette la connessione con il mondo esterno (Figura 3.6).

La capacità delle CPU aumenta con la complessità e sofisticazione dei sistemi. Negli anni 50 le funzioni della CPU erano in gran parte limitate a quelle tipiche dell'unità logica ed aritmetica. Oggi la CPU di un computer è multifunzionale e tra le sue funzionalità vi sono: la gestione delle interruzioni e delle priorità, registri speciali, microcodifica verticale ed orizzontale; specializzate operazioni aritmetiche e logiche e, eventualmente, più unità ALU (Arithmetic Logical Unit) capaci di decidere sui risultati dell'elaborazione e di sostituire e rifare fasi errate. La maggior parte di que-

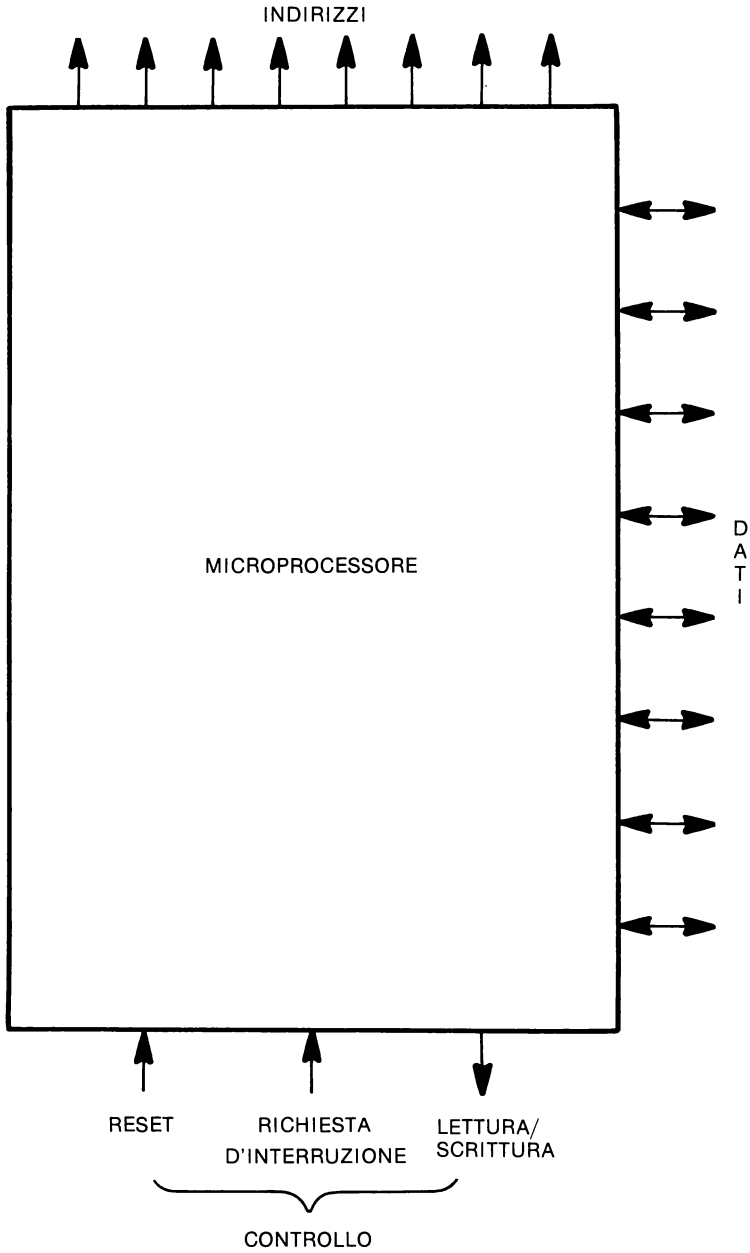


Figura 3.5 — il microprocessore visto come una "scatola nera", con l'indirizzamento dei dati e i circuiti di controllo per connettersi al mondo esterno.

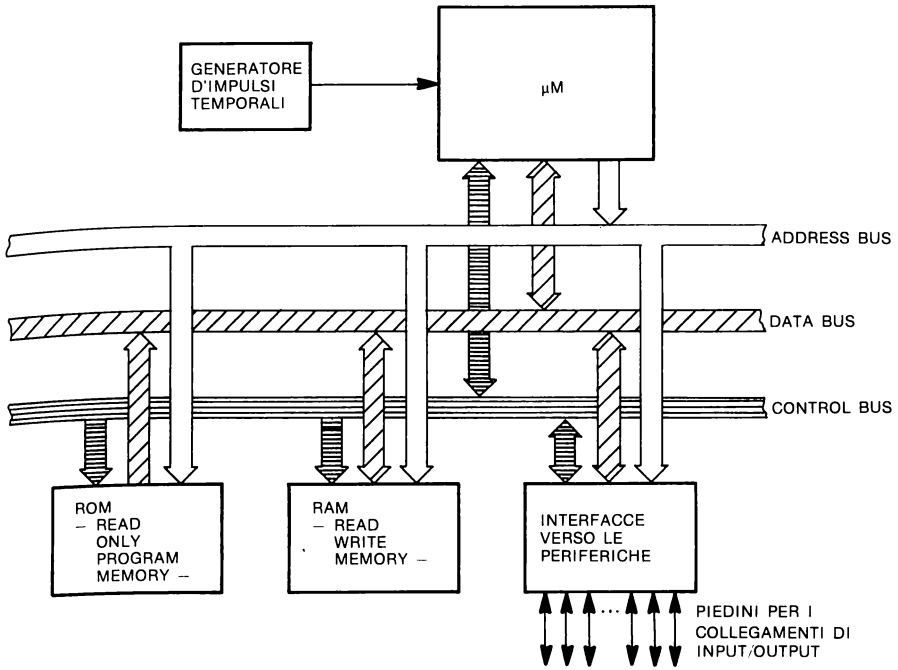


Figura 3.6 – una struttura di sistema di base comprendente un microprocessore, l'orologio, *i data, address e controlbus,* le memorie ROM e RAM e le interfacce verso le periferiche.

ste facoltà sono supportate al livello di microcomputer; anzi questa impostazione tende ad estendersi all'intero sistema, il che spiega perché un numero sempre crescente di costruttori sta cercando il modo di interconnettere più microcomputer allo scopo di realizzare multi processori potenti e flessibili. Questo è il modo con cui i microcomputer stanno entrando nel territorio dei minicomputer offrendo talvolta soluzioni migliori.

Il microcodice è parte integrante di questo sforzo e di questa tecnologia. È infatti grazie al microcodice che un processore può far riferimento al codice necessario per eseguire le istruzioni demandate a quel processore. Il microcodice può essere memoria a sola lettura o memoria ad accesso casuale e quindi con capacità programmate o firmware. Le caratteristiche fondamentali che la progettazione avrà considerato sono: l'oggetto dell'elaborazione, la capacità di trattamento dei dati e le caratteristiche funzionali. Per definire l'oggetto dell'elaborazione bisogna considerare:

– il tipo dei dati: binario, ottale, decimale o altro;

– il numero di bit per parola: 4, 8, 12, 16, 32;

– la fonte dei dati: registri esterni, registri interni, memoria centrale;

– la dimensione della memoria-dati: 1 kbyte, 16 kbyte, 64 kbyte o più;

– la dimensione della memoria per i programmi.

Come vedremo nel prossimo paragrafo in cui parleremo di bit per parola, l'ammontare della memoria centrale direttamente indirizzabile da un computer è determinato dal numero di bit che in ogni istruzione compongono il campo-indirizzo e la dimensione del bus d'indirizzamento.

Per esempio, 16 bit danno la possibilità d'indirizzare un massimo di 65.536 parole. La velocità di accesso alla memoria è comparabile a quella delle apparecchiature che hanno un tempo di accesso nell'ordine di 500 nano secondi; sono comunque disponibili memorie più veloci da usarsi con microprocessori ad alta velocità.

La capacità di trattare i dati si riferisce tipicamente alla possibilità di effettuare ordinamenti, trasmissione di blocchi di dati, ricerca di dati, operazioni di addizione e sottrazione, operazioni di moltiplicazione e divisione, operazioni logiche; si riferisce inoltre al numero di porte di I/O, alla velocità di trasmissione dei dati, al numero di interruzioni, all'esistenza di priorità, al tempo di risposta ed alla possibilità d'effettuare salti logici secondo un certo numero di condizioni.

Le caratteristiche funzionali sono fondamentalmente determinate dalle funzioni che il prodotto dovrà eseguire:

– i microcomputer su un solo chip con una parola di 4 bit sono solitamente destinati all'elettronica di consumo; i microcomputer su un solo chips ed a 8 bit sono meglio indicati per costituire sistemi;

– le necessità per le comunicazioni sono soddisfatte da microcomputer a 16 e 32 bit per parola.

È facile rendersi conto che per tutte queste classi di utilizzo sono necessari alti livelli di affidabilità e di efficienza. La velocità e l'efficienza sono estremamente dipendenti dallo stato della tecnologia; rimane tuttavia sempre la necessità di fare scelte adeguate.

Le differenze in merito ai costi ed all'efficienza non sono sempre dovute alla velocità. Possono trarre la loro origine da:

– tipo di impaccamento;

– temperatura raggiunta nel corso del funzionamento;

– numero d'interfacce.

Molti sistemi di computer hanno interfacce interne ed esterne. Le interfacce esterne che delimitano i confini del sistema sono spesso standardizzate dai costruttori; sono esempi i canali d'interfaccia IBM e le unità bus della DEC. Le interfacce interne sono spesso inaccessibili e protette; in entrambi i casi i confini di un sistema basato sui microprocessori sono sostanzialmente definiti dalle sue interfacce.

Questi paragrafi sono stati scritti dando per scontata la familiarità degli utenti coi criteri generali. Poiché i componenti che costituiscono le interfacce sono i più accessibili e spesso devono essere di tipo generalizzato ecco che il bus di sistemi basati sui microprocessori è l'elemento chiave della standardizzazione per poter permettere il collegamento di uno svariato insieme di componenti, di tipi di progettazione e di utilizzo.

5 – BIT PER PAROLA

Nel corso degli ultimi 10 anni si sono avuti importanti cambiamenti nella progettazione, in particolar modo per quanto riguarda la densità di un chip e i bit per parola supportati da un microprocessore. Alcuni specialisti vedono aumentare la capacità dei computer di un 30% ogni anno; oppure che mantenendo fisso il livello di capacità i prezzi sono calati di un 30% prendendo in considerazione la stessa base annua. L'aumento di capacità è strettamente legato al numero di bit per parola (BPW): nella prima metà degli anni '70 lo standard era costituito dai microprocessori a 4 bit. Oggi molti utenti non prenderanno neppure in considerazione microprocessori che non siano in grado di operare a 8 o 16 bit, e questo mentre sta crescendo la domanda per i 32 bit.

I progettatori d'apparecchiature sono solitamente d'accordo nel considerare che la capacità del processore dovrebbe essere almeno equivalente a quella dei minicomputer basati sulla tecnologia TTL. L'architettura dovrebbe essere tale da minimizzare la richiesta di circuiti che non siano realizzati con la tecnologia VLSI; al contrario dovrebbero essere considerati i prodotti della tecnologia VLSI che sono attualmente in uso anche grazie al basso costo derivante dalla produzione massiva: solitamente circuiti elettronici realizzati per specifiche necessità dell'utenza non sono convenienti dal punto di vista costi.

I seguenti paragrafi aiutano a documentare come negli ultimi 10 anni l'architettura dei microprocessori sia radicalmente cambiata. L'introduzione di apparecchiature basate su microprocessori di 16 e 32 bit sta mutando le prospettive applicative: da questo deriva la necessità di guardare al sistema nel suo complesso e di considerare con attenzione ciò che è necessario, in termini di capacità di calcolo e di memoria, per eseguire una data funzione.

Cronologicamente il 1972 fu l'anno di nascita del microprocessore a 4 bit (Intel 4040); il 1977 fu l'anno di nascita del microprocessore a 8 bit; nel 1980 apparve quello a 16 bit e nel 1981 quello a 32 bit. Insieme al cambiamento nel numero di bit per parola (BPW), i microprocessori resero possibile un significativo aumento in termini di MIPS (millions of instruction per second). Questi due eventi rendono possibile:

- basi di dati di maggiori dimensioni,
- l'utilizzo di bande di trasmissioni di sempre maggiore ampiezza,
- e, ovviamente, nuovi utilizzi.

Il numero di bit è connesso con la potenza del processore: meno sono i bit in una parola e maggiori sono i passi che il processore deve fare per svolgere una certa funzione. Dunque si deve considerare con attenzione la dimensione della parola: il numero di bit che compongono i registri di lavoro di un processore (e cioé i registri che vengono usati per effettuare operazioni logiche ed aritmetiche) è un parametro cruciale.

Per quanto riguarda il tipo di microprocessori standard che l'utente può trovare per le proprie applicazioni, sul mercato ve ne sono stati finora di 5 tipi: da 4-bit, da 8-bit, da 12-bit, da 16-bit e bit-slice (2 bit e 4 bit):

- i tipi da 4 bit sono stati gran parte usati per piccole apparecchiature di controllo e per calcolatrici.

Le apparecchiature che prevedono l'utilizzo di un tale microprocessore prevedono solitamente i decimali aritmetici, la gestione a 4 bit di numeri binari (BCD) ad una cifra alla volta. Di conseguenza sono molto limitati sia nella capacità elaborativa che nella velocità ed ancora richiedono un sia pur modesto intervento nelle fasi di calcolo.

- La soluzione a 8-bit è stata per un certo periodo di tempo quella più diffusa.

Tale microprocessore infatti permetteva applicazioni polivalenti sia nel campo dei computer che in quello delle comunicazioni. Molti caratteri usati nelle comunicazioni hanno un formato 8-bit e le calcolatrici basate su un simile microprocessore possono gestire un notevole numero di istruzioni-programma.

- I modelli a 12 bit non godono di particolare apprezzamento in quanto anche se permettono capacità aritmetiche maggiori di quelli a 8-bit, la loro architettura è basata su una istruzione per una parola a 12-bit.

Poiché la parola che contiene l'istruzione deve anche includere l'indirizzamento, l'insieme d'istruzione e la capacità d'indirizzamento di questo microprocessore è un po' limitata in confronto alle tipiche apparecchiature a 8 bit ed è, di conseguenza, meno potente. Il vantaggio che li rende competitivi è la capacità dell'apparecchiatura che si basa su di loro a utilizzare l'enorme libreria di software realizzata per i PDP-8.

- Il microprocessore a 16-bit è quello che attualmente gode il maggior favore e che eventualmente sostituirà gli 8-bit sia nei computer che nelle comunicazioni.

Il microprocessore a 16 bit potrebbe essere, esso stesso, sostituito da quelli a 32-bit; la sua possibilità di successo sarà in gran parte decisa dalle applicazioni che si dovranno fare nel campo della microprogrammazione: in particolare per quanto riguarda la tecnica di utilizzo dei bit di memoria per sostituire circuiti logici integrati. La Figura 3.7 fornisce uno spaccato del mercato dei chip considerando le suddette classi.

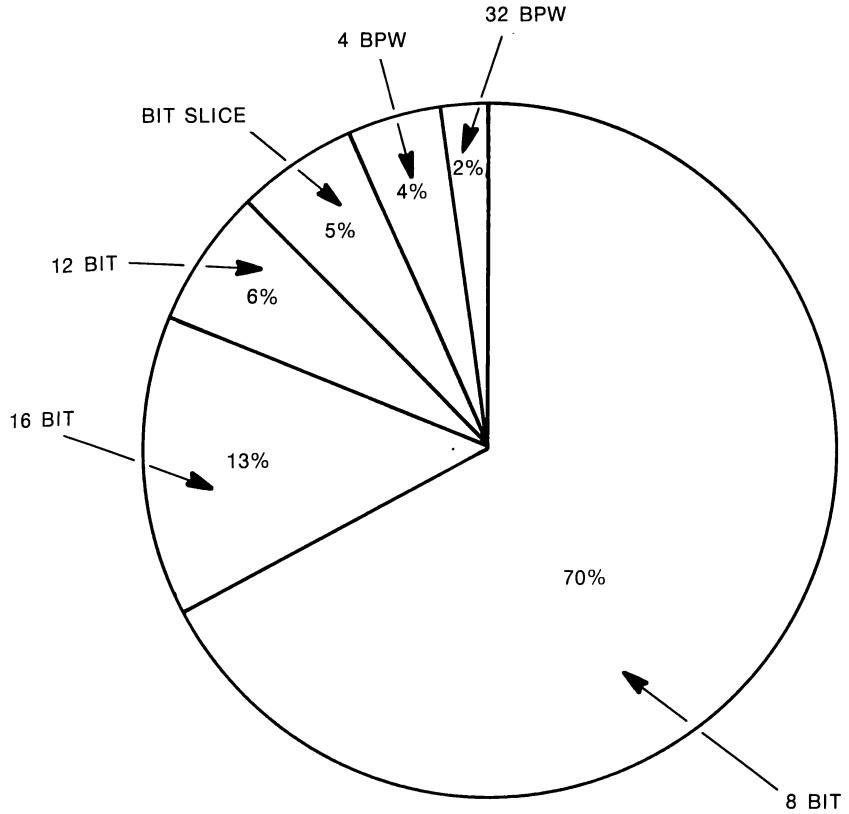


Figura 3.7 — suddivisione del mercato secondo i differenti tipi di microprocessori in funzione del numero di bit per word (BPW). Queste statistiche sono una media ottenuta da diversi studi.

6 — BITS AND GATES

(n.d.T. — *Bits and Gates: con questa espressione ci si riferisce ai* bit *come un'unità di informazione che può essere registrata in una memoria. Bit è un'abbreviazione di binary digit (cifra binaria e cioé 1 o 0). Poiché le memorie dei computer sono digitali questa è l'unità minima di memorizzazione; ed ai* gates *come l'insieme di tutte quelle unità elettroniche che hanno un canale in uscita e più canali in ingresso tali che lo stato del canale in uscita è completamente determinato dallo stato dei canali in ingresso (ad eccezione dei momenti di passaggio di stato). (Data Communication Dictionary, Charles J. Sippl). L'espressione* bits and gates *si riferisce quindi a quelle unità elettroniche "minime" che possono servire come indici di massima dell'andamento della produzione elettronica).*

È difficile determinare con precisione quanti bit sono necessari per sostituire un gate: con funzioni a 4 bit si utilizzano solitamente 4 bit ma nei casi più generali possono esserne necessari 8 o 16. Se assumiamo quindi che 8 bit sostituiscono un gate si avrà che 4 Kbit di ROM, memoria a sola lettura, possono sostituire 512 gate realizzati con circuiti integrati. Vi sono vantaggi economici in una tale sostituzione e la nostra attenzione dovrebbe essere posta non solo su tali vantaggi industriali ma anche sulla architettura di sistema.

I vantaggi economici interessano l'industria nel senso che i *bits and gates* diventano un'unità di misura per la produzione dell'industria dei semiconduttori e, di conseguenza, della loro capacità di sopravvivenza. Nel 1978 la produzione di *bits and gates* è stata stimata in 10^{12}; nel 1984 ci si attende che ne siano prodotti circa 10^{18}. Queste due statistiche differiscono per 6 ordini di grandezza e ci si attende che ciò accada nell'arco di solo 6 anni.

Dal punto di vista tecnologico la tendenza verso i chip dotati di parole a 16 e 32 bit aumenta la capacità di memoria indirizzabile, il che, a sua volta, favorisce architetture più complesse. Inoltre la compatibilità software ("portabilità" dei programmi) è considerevolmente più semplice se il formato della parola non cambia nel corso del processo; questa è una seconda buona ragione per una decisa migrazione verso progettazioni che prevedono un maggior numero di bit per parola. I microcomputer ed altre macchine risentiranno dell'impatto di questi cambiamenti e occorrerà che vi sia una conseguente loro ristrutturazione. Alle attuali condizioni della tecnologia gran parte della progettazione "a 32-bit" si basa su 3 chip che formano un tutt'uno. Questo fa parte più dei processi per la produzione di mainframe che di quelli per la produzione di microcontrollori; il che, a sua volta, riflette il fatto che finora le necessità di base nell'industria dei computer erano costituite a livello di 8-bit, 12-bit, 16-bit. Non bisogna sottovalutare che vi è anche un impatto del software su tutto il processo: sia le micro che le macro CPU tendono all'architettura basata sui 32-bit poiché i programmi che si vogliono realizzare sono sempre più sofisticati.

Ricapitolando, dal punto di vista della progettazione i microprocessori a 32 bit significano avere una maggior disponibilità di memoria, il che è molto positivo sia per alte percentuali di dati sia per complessi programmi COBOL. Questo è uno dei modi con cui l'industria dei semiconduttori crea gli strumenti per realizzare una vera rivoluzione nel campo delle informazioni e, nello stesso tempo, per raggiungere punti di alta competitività.

Un altro esempio di strumento basato sui semiconduttori di grande validità e di lunga portata sono i microprocessori *bit-slice*. Queste sono solitamente apparecchiature microprogrammate, capaci di eseguire microistruzioni. Le microistruzioni sono operazioni elementari, istruzioni più complesse e potenti possono essere eseguite realizzando combinazioni equivalenti di microistruzioni, le quali a loro volta possono essere combinate per formare microprogrammi; questi sono poi residenti nella memoria veloce (*cache-memory*) associata con il microprocessore. La macchina opera rintracciando le microistruzioni dalla memoria centrale del sistema, in-

dividuandone il tipo ed eseguendo le appropriate routine di microprogrammi che eseguono la funzione implicata della macroistruzione.

Dal punto di vista della progettazione possono essere aggregati insiemi di microprocessori *bit-slice* per formare aggregati la cui parola abbia come dimensione un qualsiasi multiplo intero della dimensione del bit-slice (4-bit, 8-bit, 16-bit, ecc.). Queste apparecchiature possono essere ben adattate alle necessità cambiando i loro microprogrammi; la loro flessibilità permette che siano fatte operare con un appropriato insieme di istruzioni per precise finalità, tra le quali la possibilità di emulare altri processori.

I *bit-slice* sono variabili in funzione della progettazione, quelli a 4-bit possono formare processori a 20-bit mettendone ad operare 5 insieme: la progettazione è quindi molto flessibile ma comporta anche alti costi, di conseguenza è usata solo con quelle applicazioni che permettono reali vantaggi economici.

Con una macchina basata sui *bit-slice* possiamo progettare il nostro particolare insieme d'istruzioni. Il prossimo passo consistente nell'emulare altri prodotti usandone il relativo software, avrà bisogno di una tale possibilità; così sarà necessaria per raggiungere velocità più alte, per realizzare insiemi d'istruzioni appositamente progettate per particolari attività, per permettere l'uso di parole a lunghezza variabile e per assicurare flessibilità nel mutamento dell'ambiente tecnico ed operativo.

Un esempio è l'uso delle apparecchiature *bit-slice* nelle unità di diagnostica per rimpiazzare un processore a 12-bit. Se fosse necessario emulare un processore a 12-bit con chip a 4-bit, con un'accorta integrazione di funzioni il prodotto finale avrebbe 2 elementi invece dei 3 originali. Inoltre con la nuova progettazione si ottiene un'estensione delle funzioni di diagnosi al controllore di input/output del computer.

In generale i microprocessori *bit-slice* sono una classe speciale di apparecchiature che non possono contenere anche una completa CPU. Il che implica che i suddetti microprocessori rappresentano una fetta (*slice*) di una CPU, fetta che può essere combinata con altre e che all'interno di appropriati circuiti può arrivare a costituire un completo microprocessore-CPU dotata di una parola di lunghezza arbitraria. I microprocessori *bit-slice* sono spesso molto veloci e progettati per fornire alte prestazioni. Una macchina basata sulla tecnologia *bit-slice* è progettata sostanzialmente perché il microprocessore possa avere una dimensione della parola flessibile piuttosto che fissa come negli altri casi.

CAPITOLO 4

LE MOTIVAZIONI E GLI STIMOLI PRODUTTIVI

1 – INTRODUZIONE

Abbiamo finora parlato dell'architettura delle apparecchiature e della possibilità d'applicare la tecnologia dei microprocessori a una gran varietà di prodotti. È ora il caso di prendere in considerazione le motivazioni e gli stimoli produttivi. Le nuove tecnologie non solo offrono la possibilità di fare grossi affari, esse anche alterano il tradizionale ruolo dei produttori ed espandono l'orizzonte del mercato permettendo l'entrata di nuove aziende.

La Figura 4.1 illustra durante i 10 anni critici per i produttori di semiconduttori (1969-1978) come nuovi prodotti hanno spinto con la loro crescita le aziende a gestirli come veri affari. E con ciò alcune si sono assunte anche dei rischi: la Intel e la National Semiconductors sono attualmente le sole grandi produttrici di semiconduttori che non hanno introdotto significative diversificazioni o che non siano state acquistate come parte specializzata di una più grande azienda. L'acquisto da parte della United Technologies e della Schlumberger della Fairchild e Mostek hanno allungato la lista delle aziende che sono possedute da altre.

Il significato di ciò sta nel fatto che chiunque nel campo dei semiconduttori abbia fondato un'azienda per produrre circuiti integrati si è trovato nell'obbligo di vendere ad altre aziende per finanziare la crescita della propria società. La Tavola 4.1 evidenzia per fatturato e partecipazione esterna maggioritaria le 20 maggiori aziende produttrici di semiconduttori degli Stati Uniti.

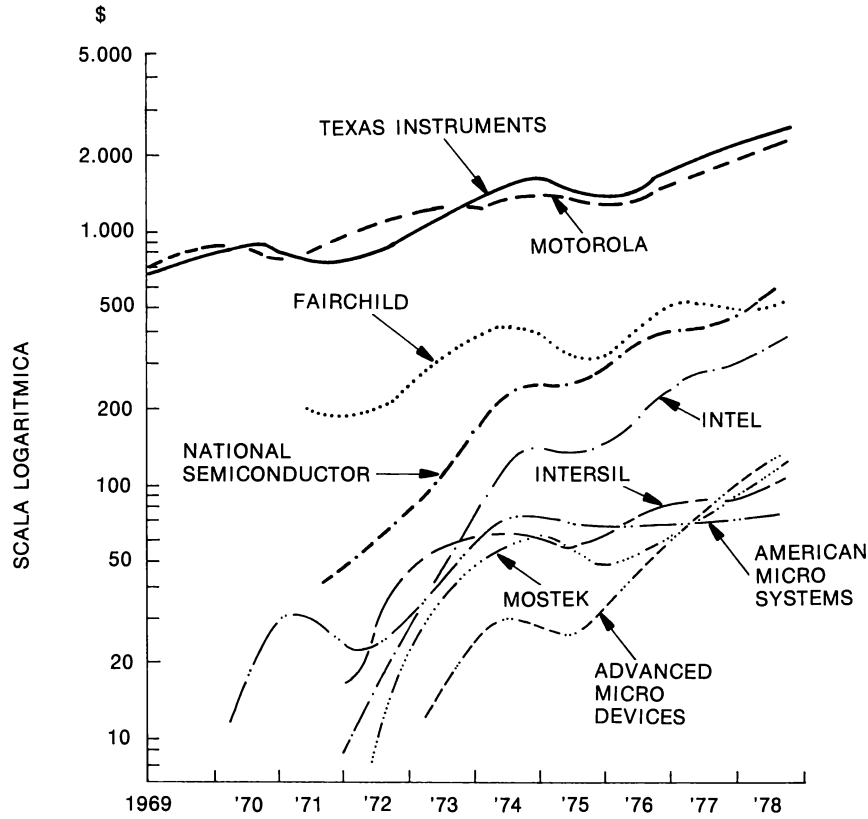


Figura 4.1 — 10 anni di sviluppo del mercato per i maggiori produttori dei semiconduttori.

Tavola 4.1 — I primi venti produttori americani di semiconduttori*

1. **DA 500 A 1000 MILIONI DI DOLLARI**	DIVISIONE DELLA:
TEXAS INSTRUMENTS	—
MOTOROLA	—
INTEL	—
2. **DA 250 A 500 MILIONI DI DOLLARI**	
NATIONAL SEMICONDUCTOR	—
FAIRCHILD	SCHLUMBERGER
SIGNETICS	N.V. PHILIPS
3. **DA 100 A 250 MILIONI DI DOLLARI**	
ADVANCED MICRO DEVICES	SIEMENS
MOSTEK	UNITED TECHNOLOGIES
RCA	—
HARRIS	—
AMERICAN MICRO SYSTEMS	ROBERT BOSCH
4. **DA 50 A 100 MILIONI DI DOLLARI**	
ROCKWELL	—
GENERAL INSTRUMENTS	—
INTERSIL	NORTHERN TELECOM
SYNERTEK	HONEYWELL
5. **SOTTO 50 MILIONI DI DOLLARI**	
ANALOG DEVICES	STANDARD OIL
MONOLITHIC MEMORIES	NORTHERNO TELECOM
SILICONIX	LUCAS INDUSTRIES
SOLID STATE SCIENTIFIC	ADOLF SCHINPLING
ZILOG	EXXON

* Volume d'affari annuale relativo solamente all'attività di produzione di semiconduttori

Parlando di "business opportunity" bisogna considerare con la dovuta attenzione il lasso di tempo che passa tra una scoperta basilare ed il momento in cui si può dar vita a un prodotto commerciabile. Indipendentemente dal fatto che il periodo di tempo tra la scoperta del nuovo principio e la sua applicazione sia lunga o corta, ad un certo punto appare evidente che è necessario un piano d'azione riguardante il prodotto o il processo in sviluppo soprattutto se lo si vuol far diventare un successo commerciale.

Proprio come i salti di qualità nella tecnologia, le fortune commerciali non capitano per caso ma solo dopo che si siano fatti gli opportuni sforzi e le opportune pianificazioni; i salti di qualità richiedono capacità professionale, pianificazione e la capacità di scegliere le priorità. Il che richiede più delle capacità personali degli uomini interessati e cioé un insieme di giusti obiettivi ben documentati e definiti. Niente è meno responsabile delle buone intenzioni quando la direzione e le azioni sono fatte con mano incerta.

È fondamentale la conoscenza e la competenza manageriale: è un presupposto fondamentale soprattutto in periodi di grandi cambiamenti. Seguendo un'evoluzione dinamica un'organizzazione deve far fronte a nuovi e inevitabili problemi: le aziende che operano nel campo delle comunicazioni, dei computer e dei semiconduttori non fanno eccezione. Per avere successo devono continuamente dimostrare di saper acquisire ordini per i propri prodotti; saper operare all'interno della pianificata struttura di attività; saper rispettare le date previste e sapersi imporre azioni correttive quando è necessario. La pianificazione è un modo per definire il comportamento e la corretta realizzazione è anzi il test per gli uomini che compongono l'organizzazione.

2 — TENDENZE DELLA TECNOLOGIA

Per le aziende che operano seguendo i filoni della tecnologia lo sviluppo di un prodotto di successo talvolta è sulla stessa strada delle maggiori conquiste tecnologiche. Nel campo dei computer queste conquiste consistono nell'aumento della densità della memoria e dei circuiti; nella riduzione dei costi per byte di memoria; nel controllo dei costi di comunicazione; nell'aumento dell'ampiezza di banda disponibile per le comunicazioni; nella diminuzione dei costi per istruzione; nella realizzazione della programmazione assistita dal computer. Nei capitoli 1 e 3 abbiamo documentato come durante gli ultimi 10 anni i costi dei circuiti dei grossi sistemi per l'elaborazione dei dati siano stati fortemente ridotti; il che comporta poi che la tendenza continui per altri numerosi anni con l'integrazione a larga scala che permette costi di poche decine di lire per circuito. La riduzione dei costi di miniaturizzazione avrà effetti sulla dimensione e sulle funzioni delle memorie ad alta velocità; aumenterà inoltre la dimensione media della memoria per l'altissima integrazione. Ciò porterà a nuove architetture di sistemi: si potrà disporre di un insieme di elementi base che connessi l'uno con l'altro in permutazioni teoricamente illimitate potranno soddisfare l'esigenza dell'utente e del costruttore.

La Figura 4.2 evidenzia quanto detto; il rapporto dell'IBM del 1981 indirizzato agli azionisti indica 4 prodotti per documentare l'avanzamento tecnologico:

(a) un modulo logico formato tascabile nel nuovo processore tipo 3081 contenente 45.000 circuiti equivalente al totale dei circuiti logici di un medio sistema IBM 370/148.

(b) un chip basato sul silicio per i nuovi modelli 3683 destinato ai supermercati; questo chip rappresenta il prodotto a più alta densità che sia stato messo in commercio. È il caso di notare che questo chip di poco più di 1/2 cm. può memorizzare 72.000 bit di informazioni.

(c) un altro chip sperimentale basato sul silicio di meno di 1/2 cm. contiene 4.000 interruttori logici ed è quindi considerabilmente più denso di qualunque circuito presente sugli attuali computer.
Si è trovato sperimentalmente che un tale chip può contenere 10.000 interruttori logici o 250.000 bit di memoria.

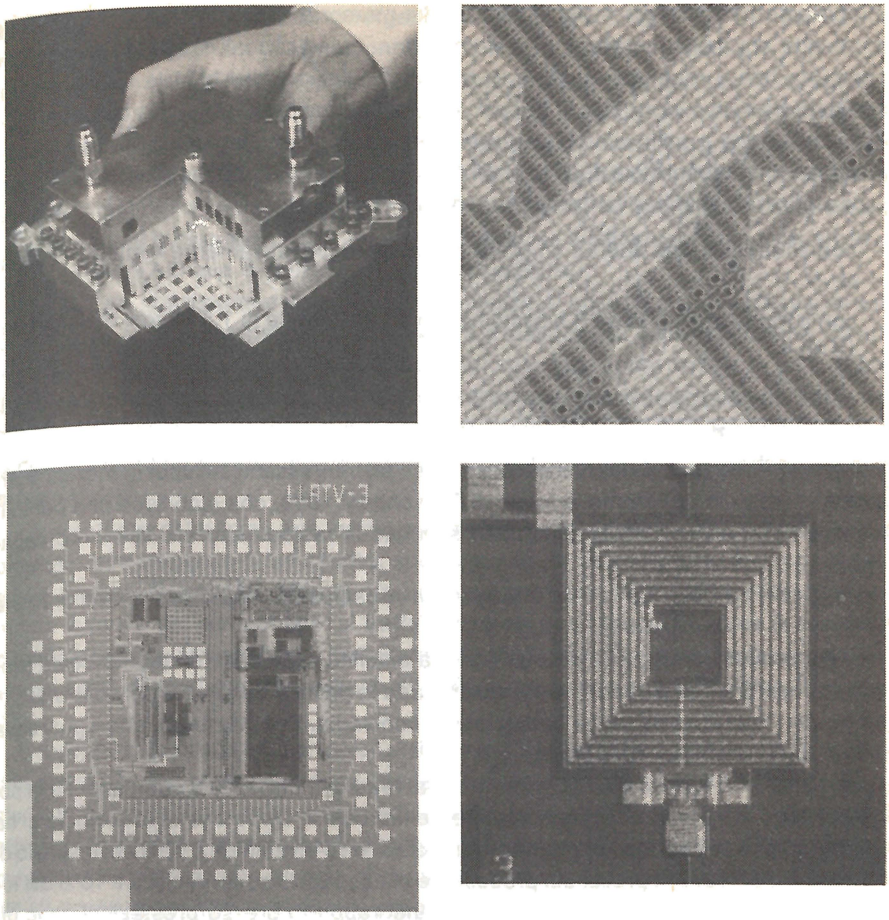


Figura 4.2 — 4 esempi di conseguenti passi della tecnologia: (a) un modulo logico tascabile; (b) un chip al silicio ad alta densità per prodotti ad uso commerciale; (c) un chip sperimentale al silicio contenente 4000 switches; (d) una bobina per la rilevazione magnetica sperimentale basata sulla superconduzione.

(d) una bobina sperimentale costituente un sensore magnetico superconduttore. Le caratteristiche operative di una tale apparecchiatura ancora da laboratorio rasentano i limiti imposti dalle leggi fondamentali della fisica.

I sensori possono potenzialmente misurare variazioni inferiori ad 1 milionesimo di 1 milionesimo della intensità del campo magnetico terrestre; le aree applicative sono ovviamente quelle dell'elettronica, della geofisica e della biomedicina.

Abbiamo parlato degli sviluppi relativi alle memorie. Nella metà degli anni 60 un megabyte era veramente una grossa memoria, quindici anni dopo la dimensione è cresciuta fino a raggiungere gli 8-12 megabyte; nel maggio 1981 la Fujitsu ha annunciato un nuovo computer, il Facom, con 128 megabyte di memoria centrale. Nello stesso modo e nello stesso periodo di tempo, il prezzo in dollari per MIPS della pura capacità elaborativa si è fortemente ridotto, mentre la capacità in MIPS di ogni processore è significativamente aumentata:

- con il modello IBM 360/65 un MIPS costa approssimativamente 4 milioni di dollari;
- con il modello 370/168 SP il costo ha raggiunto il livello di 1,5 milioni di dollari per MIPS;
- con il modello 3033 il costo si è ridotto a 750.000 dollari e il costo tende a diminuire con i nuovi annunci.

I prossimi 10 anni ci riserveranno sorprese ed interessanti sviluppi in merito. È arrivato il tempo in cui trionfa la legge di Grosch, del 1960, che stabilisce che per i sistemi a larga scala i costi aumentano secondo la radice quadrata della loro capacità.

(n.d.T. — *$P = KC^2$ ove P è la potenza di calcolo, C il costo del sistema, K una costante).*

Tra parentesi la legge di Grosch non era stabilita sulla base di quanto costa produrre macchine ma piuttosto su come era fatta la politica dei prezzi dai costruttori di computer; non era una legge basata sulla tecnologia. Era una legge che riguardava piuttosto la strategia dei prezzi.

Bisogna dare tutta la dovuta importanza al fatto che dalla metà degli anni 70 in poi i mutamenti dei prezzi sono stati veramente incredibili. Dopo che la tecnologia ci ha permesso di realizzare un intero microprocessore su un solo chip nel breve spazio di 10 anni (1967-1977) i prezzi del processore di base sono scesi di circa il 10% del loro livello precedente; incisivi cambiamenti nel rapporto prezzo/prestazioni sono diventati ormai comuni. Dal 1950 il costo per bit dell'informazione memorizzato è sceso di 1000 volte; nello stesso periodo di tempo il prezzo di centomila operazioni di calcolo è sceso da poco più di un dollaro e mezzo a circa 1 penny. Nel corso degli ultimi anni il costo della memoria dei computer è diminuito del 40% per anno; quello dei circuiti logici del 25%.

Parallelamente a questa discesa dinamica dei prezzi si è imposto un secondo tipo di fenomeno: alle condizioni attuali lo possiamo chiamare il fenomeno della superpotenza. Ne è un buon esempio il computer specializzato che opera con la velocità di un miliardo di operazioni "floating point" al secondo, la cui realizzazione è possibile già per il 1986. Tuttavia potenza e dimensioni di memoria non sono gli unici obiettivi. Gli utenti stanno sempre più concentrando l'attenzione sulla qualità, l'affidabilità, la manutenibilità, la sicurezza e la possibilità di ottenere tutto ciò in tempi brevi e a costi abbordabili. I costruttori di computer devono stare attenti: quali sono le nuove richieste dei clienti? quali sono le attese? quali politiche? come è possibile ri-

spondere alle tipiche richieste emergenti? I costi di mercato, quelli d'importazione riflettono una giusta economicità per l'affidabilità e la manutenibilità?

La questione della manutenzione è diventata una delle maggiori preoccupazioni. Con la nuova generazione di sistemi "on-line" non ci si può permettere tempi di fuori servizio ed i costi di manutenzione devono essere ridotti come devono essere inoltre automatizzate le funzioni di diagnosi. Ma come si farà per assicurare ottimi livelli di verifica e test nella fase di progettazione, di produzione ed operativa? Come saranno applicate le nuove specifiche per la manutenzione ai sistemi di computer e per le comunicazioni? Quale è il livello di costi accettabile?

Per ridurre consistentemente tutto il complesso di costi, e quindi sopravvivere in un mercato ad alta competitività, la tendenza è stata quella della produzione massiva anche dei circuiti ad uso speciale. La struttura a gate (*gate array*), in un formato a strati parzialmente completo è adatta alla realizzazione delle logiche richieste del cliente. L'utente può limitarsi a disegnare solo gli ultimi 2 livelli per completare il suddetto elemento a strati, il che permette di ridurre i costi e di limitare il tempo di progettazione.

La soluzione gate array può inoltre essere più vantaggiosa di un chip totalmente orientato alle esigenze di un cliente, specialmente se ne occorrono solo poche migliaia di unità. Quando si parla di riduzione dei costi non ci si riferisce necessariamente al costo dei componenti; si tratta anche dei costi associati come le piastre a circuiti stampati, i connettori, i collegamenti, gli alimentatori e la struttura esterna. Questi sono gli elementi che aiutano ad abbassare i costi e ad aumentare le capacità.

È possibile acquistare chip logici e sistemarli su circuiti stampati. Ma questo richiede fasi di test e di prove dopo che le piastre sono state riempite, per non menzionare il costo della piastra stessa ed il lavoro per assemblarla. I costi salgono e si afferma la tendenza verso soluzioni come i *gate array;* se si realizzano parti sempre maggiori del sistema con un solo chip questo sarà una delle parti più grandi del costo di produzione. Tra le scelte di progettazione che sono basilari vi è senz'altro quella relativa al consumo di energia. Con i chip a 64K è ora sufficiente un circuito dove prima ne occorrevano 4; il che significa ridurre la dimensione della piastra a circuiti stampati e di conseguenza ridurre la dimensione della struttura esterna, una minore necessità di raffreddamento ed un minore consumo di energia. Tutto ciò significa soldi sia per il costruttore del sistema sia per l'utente.

Nel campo delle comunicazioni ad esempio dove le apparecchiature devono restare operanti 24 ore su 24 il consumo di energia è significativo. Per un'apparecchiatura destinata alla commutazione telefonica, in 12 anni di vita l'energia consumata può costare più della stessa apparecchiatura.

Vi sono scelte da fare e priorità da rispettare. Le aziende operanti nel campo dei computer e delle comunicazioni sanno tutte, e fin troppo bene, che in ogni organizzazione la questione principale attorno alla quale ruota ogni sforzo di sviluppo e di sopravvivenza è la capacità di sostenere una linea di prodotti dinamica, competitiva e redditizia.

Questo riferimento è bene semplificato se si considera l'uso al quale le aziende commerciali ed industriali hanno destinato i microcomputer: esso può essere considerato diviso in due grandi classi che sono all'incirca uguali. Un po' meno della metà si riferisce a nuove applicazioni (Figura 4.3). Da qui scaturisce una nuova generazione di prodotti fino a ieri sconosciuta al mercato. Poco più della metà invece si riferisce alla sostituzione di macchine ed apparecchiature già esistenti. Il rischio di arrivare all'obsolescenza del prodotto sta per molte aziende proprio in questa parte del mercato.

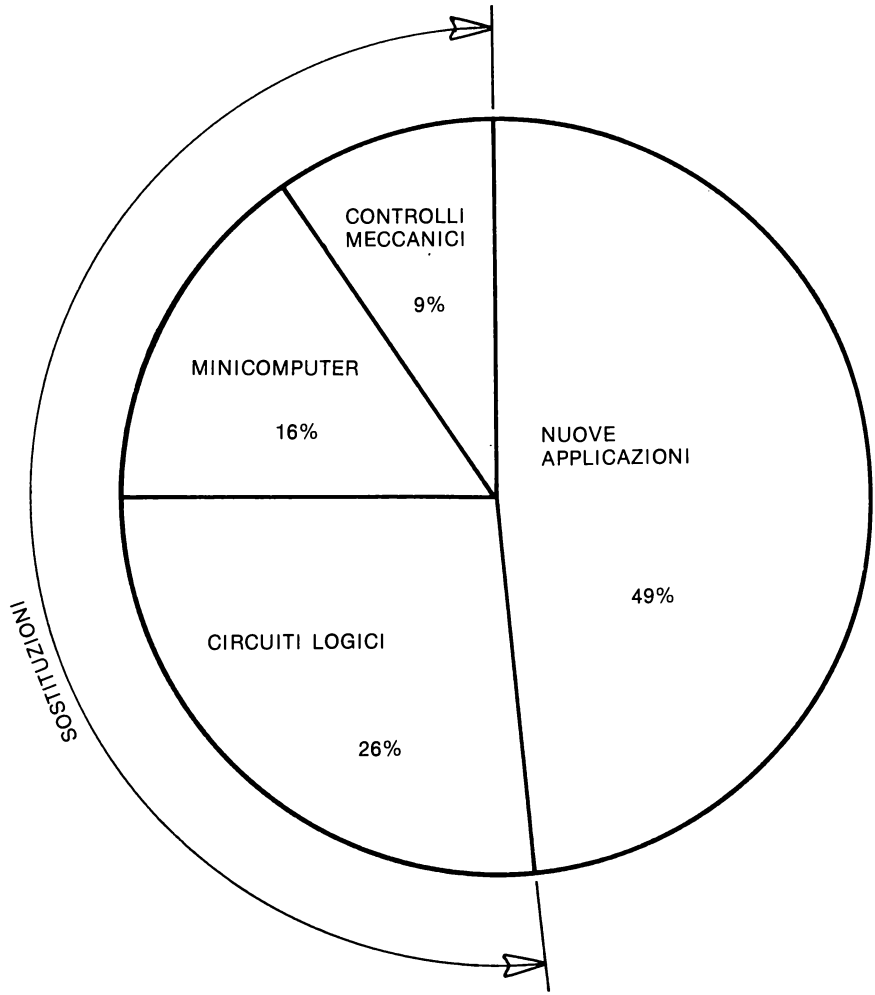


Figura 4.3 — una suddivisione percentuale dell'utilizzo dei microcomputer; sia per nuove applicazioni che in posizione di sostituzione di altri prodotti.

È interessante notare che la parte di mercato relativa alla sostituzione di macchine ed apparecchiature già esistenti si divide a sua volta in 3 parti:

- la più grande, circa il 26% è la più semplice da immaginarsi: la sostituzione di circuiti logici;
- il 16% dei microcomputer prende il posto dei mini, i dominatori degli anni '70. (È stato detto in un convegno nel 1980: "il minicomputer è morto. Lunga vita al microcomputer!");
- un significativo 9% si riferisce alla sostituzione di apparecchiature a controllo meccanico; il che è duro colpo per quelle aziende che hanno lasciato cadere la propria linea di prodotto nell'obsolescenza.

Sono tanti e vari i problemi salienti che un'azienda deve affrontare, ma il più persistente è quello che riguarda il prodotto ed i servizi: i soldi sono un problema in ogni organizzazione, ma quando ci sono i prodotti ed il mercato li chiede non c'è difficoltà ad ottenere dalle banche i prestiti necessari. Il problema diventa grande quando l'organizzazione, il suo management, i suoi prodotti e le sue fabbriche sono diventate obsolete. Alcune aziende operanti nel campo dei computer e delle comunicazioni hanno finora tenuto lontano da sé questo destino; altre invece non ci sono riuscite.

3 — UNA SFIDA CONTINUA

Dalla maggior densità per chip alla maggior velocità, dai gates array alla affidabilità, dall'impaccamento al consumo di energia, gli sviluppi tecnologici impongono ai fisici ricercatori ed agli ingegneri progettatori una sfida continua. Uno degli ultimi atti è quello dei circuiti WHSI (very high speed integration); l'obiettivo è di sviluppare circuiti integrati dotati di una capacità elaborativa pari a 100 volte quella delle apparecchiature esistenti. La tecnologia WHSI potrà aumentare enormemente la capacità dei satelliti per le comunicazioni; permetterà la realizzazione di nuove armi come i missili Cruise, nuovi sistemi di controllo radar e per gli aerei; e per i computer sarà il passaggio dai mainframe ai mini e ai micro. Avrà inoltre importanti ripercussioni commerciali a livello dei personal computer.

La lista di obiettivi per i nuovi programmi di ricerca e di sviluppo sottintende nuove e formidabili sfide:

- produzione in prototipo di memorie basate sui semiconduttori capace di *memorizzare 2 milioni di bit di dati* (il confronto è oggi con i 64 K byte commercializzati nei migliori computer disponibili oggi sul mercato),
- apparecchiature logiche su un solo chip equivalenti a mainframe ad alta velocità,
- significative conseguenze nella velocità di commutazione, il che significa aumento della miniaturizzazione,

- sviluppo di tecniche ed apparecchiature per la produzione di semiconduttori fino ad arrivare a linee di mezzo micron, un miglioramento di 10 volte della capacità attuale,

- la realizzazione di nuove progettazioni per i chip, il software e le procedure di test al fine di ottenere i maggiori vantaggi resi possibili dall'incredibile complessità dei circuiti WHSI.

I ricercatori fanno affidamento su circuiti logici e memorie avanzate per sviluppare computer in grado di far fronte a guasti: in tali sistemi vari potenti microcomputer si sostituiranno a vicenda in caso di errori.

Un'altra linea di sviluppo tecnologico (sulla quale i Giapponesi sono molto attivi) è costituita dall'Arsenide di Gallio che ci si attende possa conquistare dal 5 al 10% del mercato fin dal 1986.

Con l'eccezione dei circuiti lineari bipolari che fin dalla metà degli anni 70 occupano il 20% del mercato e della tecnologia CMOS

(n.d.T. — *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, tecnologia che usa canali p ed n sullo stesso strato di silicio. I maggiori vantaggi di questa tecnologia sono:*

a. bassa dissipazione

b. ottima immunità alle interferenze

c. facile collegamento tra circuiti CMOS

d. capacità di tollerare ampie variazioni di corrente

e. breve ritardo di propagazione

f. capacità d'operare in un vastissimo intervallo di temperatura).

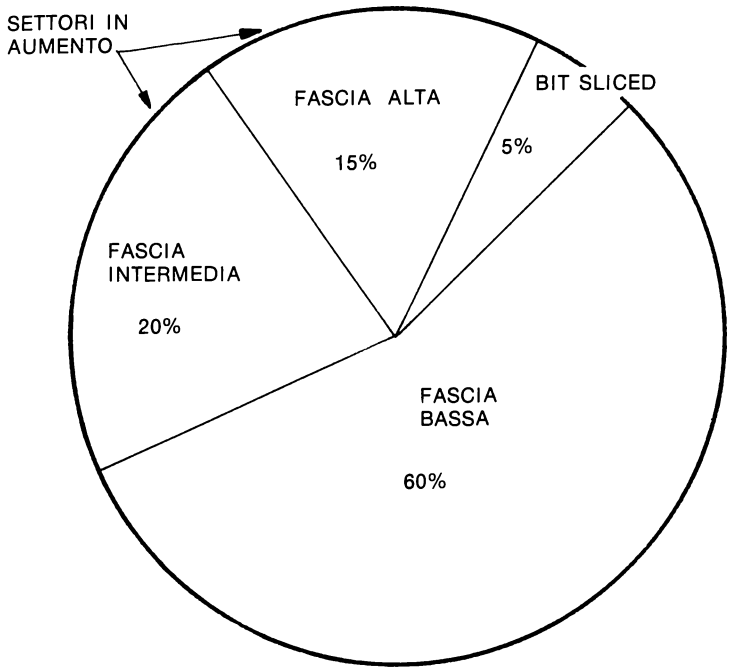
vi è un vero "via vai" di tecnologie e novità.

La tecnologia TTL tipo SCHOTTKY *HA SOSTITUITO LA CLASSICA* TTL (anche se ha occupato una fetta di mercato più piccola della precedente). La tecnologia NMOS, con la versione più compatta HMOS, ha pressoché sostituito quella PMOS.

La Figura 4.4 illustra la suddivisione del mercato secondo i differenti tipi di circuiti LSI e VLSI. I circuiti tipo *low end* occupano circa il 60% del totale; quelli tipo *high e intermediate end* il 15% e il 20% rispettivamente; la loro tendenza è di aumentare questa percentuale. La tecnologia *bit slice* occupa circa il 5% del mercato. Il rapporto relativo ai costi è molto significativo: 1 a 50 in favore del *low end*. Si prevede comunque che questo rapporto cambierà e che la fetta del *low end* si ridurrà di una percentuale variabile tra il 15 e il 20% se si prende come base il valore del mercato.

La suddivisione del mercato sta comunque spostandosi verso i livelli di maggiore integrazione. Ad esempio i microprocessori e i chip di memoria stanno occupando il mercato MSI e dei circuiti lineari. Dal momento che le caratteristiche dell'hardware e del software di base migliorano ogni anno i microprocessori ad uso non specialistico e i microcomputer su un solo chip stanno diventando la scelta preferita rispetto ai circuiti LSI per una percentuale sempre crescente di applicazioni, tra le quali ricordiamo il precedente riferimento alla tecnica *gate array*..

SUDDIVISIONE DEL MERCATO VLSI/LSI



RAPPORTO DI COSTO

$$\frac{\text{FASCIA ALTA}}{\text{FASCIA BASSA}} = \frac{50}{1}$$

Figura 4.4 — suddivisione in percentuale di mercato per i circuiti VLSI e LSI.

Cambia nello stesso tempo la metodologia di progettazione. Il vecchio metodo di disegnare manualmente gli schemi dei circuiti non può essere sostituito interamente dal computer (gran parte infatti dei circuiti LSI è ancora disegnata a mano prima di essere inserita per il trattamento nel computer); ma il CAD (computer aided design) dei circuiti ha aperto nuove possibilità che i metodi manuali non potevano certo offrire.

La Fujitsu, per esempio, ha introdotto nel 1980 una nuova famiglia di circuiti CMOS progettati con il CAD e comprendente 4 possibili scelte di dimensione dei *ga-*

te per soddisfare meglio le esigenze dell'utente: dal gate 770 di media integrazione al 3900 ad alta integrazione. Dal momento dell'apparizione sul mercato si è ottenuto un vivace livello di ordini dai produttori di macchinari industriali e di beni di consumo.

4 — I MICROMAINFRAME

Il microprocessore a 32 bit è anch'esso un prodotto di avanzate tecniche di progettazione che hanno fornito almeno la metà dei motivi per il suo sviluppo; l'altra metà sta nelle potenzialità di mercato che sono, tuttavia, ancora latenti. Vi è ovviamente un legame con la diminuzione del prezzo della memoria: ogni volta che si riduce il prezzo per bit si trovano nuove applicazioni ed i processori a 32 bit sono su questa strada.

La Intel chiama il suo nuovo chip *micromainframe* con il quale ha dimostrato che la maggior parte dell'architettura di un mainframe tipo IBM 4331 può essere ridotta a pochi chip VLSI: la sua architettura emula così quella di una grande macchina. Una tale soluzione prevede:

- uno spazio di memoria indirizzabile impressionante e cioé fino a 4 gigabyte;
- un sistema a memoria virtuale;
- microcodice per il calcolo floating point pre-cablato;
- velocità di esecuzione delle istruzioni che in alcuni casi equivale a quella dei sistemi IBM 4331-1 e 4331-2;
- un capace buffer di memoria indirizzabile per supportare efficientemente le operazioni in memoria virtuale in modo del tutto equivalente a quanto avviene nei sistemi IBM.

Queste caratteristiche non sono nuove; quello che è nuovo è che i progettatori di circuiti integrati stanno trattando pari a pari le concezioni dei mainframe ed hanno la tecnologia per realizzarli in pochi chip. La separazione della CPU e dei processori per la gestione dell'I/O unitamente all'eliminazione di tutte le interruzioni dal campo dell'attività CPU ci riporta all'architettura del CDC 6000 dei primi anni 60. Il sistema di gestione della memoria assomiglia moltissimo a quello previsto dalla Burroughs della stessa epoca. Sembra che lo sviluppo dei micro stia in generale seguendo gli stessi schemi di 20 anni fa ad eccezione dei costi e delle dimensioni che sono inferiori di vari ordini di grandezza.

I significativi sviluppi che sono partiti dai microprocessori a 8 bit, che comandavano il mercato degli anni 70 ed alle possibilità relativamente limitate se confrontate con quanto suddetto, sono bene evidenziati nella Tavola 4.2. La Tavola 4.3 elenca i produttori americani per tipo di microprocessori.

Tavola 4.2: Capacità dei Microprocessori a 8-bit

Intel 8080	Rockwell 6502	Motorola 600
– Un accumulatore a 8-bit	– Un accumulatore a 8-bit	– Due accumulatori a 8-bit che permettono dunque una doppia precisione aritmetica (16-bit)
– Sei *Scratch Register a 8-bit:* * Per salvare i risultati intermedi in memoria * Permette limitate capacità d'indirizzamento * Permette l'accesso a liste multiple	– Nessun *Scratch PAD*	– Nessun *Scratch Register*
– Nessun registro indice	– Due registri indice a 8-bit	– Un registro indice a 16-bit
– Un puntatore di stack a 16-bit	– Un puntatore di stack a 8-bit	– Un puntatore di stack a 16-bit
– Un *Program Counter* a 16-bit	– Un *Program Counter* a 16-bit	– Un *Program Counter* a 16-bit

Tavola 4.3: Microprocessori a 4, 8, 12, 16 e 32-bit

4-bit:
Intel 4004; Intel 4040; Rockwell PPS-4.

8-bit:
Intel 8008; Intel 8080; Intel 8085; Intel 8035 e 8039; Motorola 6800; Zilog Z80**; Rockwell 6502; Fairchild F8; RCA 1802.

12-bit:
Intersil IM6100

16-bit
Intel 8086****. L'Intel ha in avanzato stadio di sviluppo i modelli i80186 e i80286 che avranno rispettivamente 55.000 e 135.000 transistor per Chip operando a 10 MHz, mentre l'i8086 opera a 4MHz. Zilog Z8001; DEC LSI 11; National IMP 16; TI 9900*; Fairchild 9440; General Instruments CP1600.

32-bit
*** Alcuni microprocessori come il Motorola 68.000 sono 32 BPW, ma con bus a 16 bit. Intel 4932; Bell Labs; Hewlett-Packard; National Semiconductors; Motorola 6800; Zilog.

* Il TI 9900 è stato il primo microprocessore a 16-bit apparso sul mercato.
** Il codice oggetto dello Z80 è compatibile con il modello 8080, anche se questo ha un set d'istruzioni sottinsieme di quello per lo Z80; così lo Z80 è il primo PCM a livello dei microprocessori.

Sei differenti aziende hanno proposto nuove progettazioni per microprocessori a 32 bit in seguito all'annuncio dell'iAPX 432 da parte della Intel realizzato con 3 chip. La Bell Labs ha presentato il proprio progetto di microprocessore a 32 bit su un solo chip. Quella della Hewlett Packard's è realizzato con più di 450.000 transistor su un solo chip. Il chip-processore della National Semiconductor separato da quello per la gestione della memoria integra più di 60.000 transistor.

Consideriamo le aziende che commercializzano i microprocessori a 32 bit, la Intel usa 4 dei suoi chip iAPX 432, tuttavia il calcolo è svolto da uno a 16 bit. La Motorola usa il modello 68.000 con registri a 8 e 16 bit. La Zilog lavora con il modello Z 8000 che ha registri a 8 bit che possono essere accoppiati. In questo senso un autentico processore a 32 bit non esiste ancora e vi sono progettatori che ritengono che i processori a 32 bit:

- sono troppo grandi per moltissime applicazioni
- necessitano un chip per la gestione della memoria e
- gran parte del software a loro destinato già opera efficientemente.

Tenendo conto di queste ipotesi il micro a 32 bit potrebbe anche essere il punto d'arrivo. Il chip a 4 bit è stato il primo micro seguito nell'ordine da quello a 8 bit, a 16 bit e ora a 32 bit. Può essere che si arrivi ai micro a 64 bit; idea questa in qualche modo ben documentata se guardiamo all'industria del mainframe. Si fermarono ai 32 bit come l'architettura più adatta per un grandissimo insieme di applicazioni. È bene però considerare queste conclusioni con grande precauzione: la tecnologia è uno sviluppo e una sfida continua.

È inoltre probabile che i microprocessori realizzati con chip a 32 bit spingeranno parte dei propri costruttori nel campo del software. Si parla sulla possibilità di supportare un sistema operativo completo ed un compilatore per un linguaggio ADA. Una tale strategia tende ad evitare di dover vendere prodotti-sistema come la Texas Instruments e la National Semiconductor hanno fatto, scegliendo la strada di ottenere ricavi dalla vendita del software che è in notevole sviluppo. Molto probabilmente anche la Intel si sta preparando a seguire questa strada.

5 — IMMENSE POSSIBILITÀ

Parlando di computer, comunicazioni e dell'industria dei semiconduttori come un unico complesso e strettamente integrato campo, è anche corretto sottolineare che i produttori di semiconduttori non fioriscono solo sulle dimensioni del mercato dei computer, anzi si stima che i computer costituiscono 1/4 della domanda complessiva di circuiti integrati.

Gli sviluppi basati sui microprocessori hanno interessato ogni angolo della vita di tutti i giorni; si è così creato un insieme di immense possibilità per un'ulteriore crescita e ulteriori svilippi. E questo proprio per un'industria che è tra le più dinamiche e con il maggior ritmo di crescita.

Le Tavole 4.4, 4.5 e 4.6 rappresentano questa considerazione illustrando gli anni di progresso tecnologico dal 1950 ad oggi ed anche tentando qualche previsione. Le prime due rappresentano come in 1/3 di secolo i semiconduttori abbiano trovato applicazione in classici prodotti:

- applicazioni industriali,
- sistemi aziendali e per ufficio,
- comunicazioni.

Tavola 4.4: Sviluppi basati sui semiconduttori nei beni industriali

Periodo	Sviluppi nell'elettronica	Impatto sulla produzione industriale	Mutamenti nei processi	Impatto sui prodotti
Fine anni '40	Nascita del transistor			
Metà anni '50	Commercializzazione del transistor	Prima generazione di macchine a controllo numerico basata sulle valvole		
Fine anni '50	Primi circuiti integrati	Seconda generazione di macchine a controllo numerico basata sui transistor		
Primi anni '60		Prime sperimentazioni con i robot industriali in USA	Colata continua nella produzione di acciaio	
Metà anni'60	Produzione di circuiti integrati	Terza generazione di controllo numerico basata sui circuiti integrati		
Fine anni '60	Sviluppo della tecnica LSI	Quarta generazione di controllo numerico basata sui minicomputer		
Primi anni '70	Sviluppo dei microprocessori		Produzione totalmente automatizzata dei transistor	Macchine per la saldatura automatica
Metà anni '70	Microprocessore su un solo chip	Quinta generazione di controllo numerico basata sui mainframe	Colata continua controllata da microcomputer	Servo-sistemi controllati da microcomputer (USA)
Fine anni '70 Inizio anni '80	Sviluppo tecnologia VLSI	Robot controllati da microcomputer	Tecnica LSI per i motori	Tecnica LSI nell'industria automobilistica
Metà anni '80	Tecnologia pre-Josephson		Sistemi totalmente automatici per la produzione di circuiti integrati	Veicoli controllati con microprocessori

Tavola 4.5: Impatto dei semiconduttori sui sistemi per l'ufficio e sulle comunicazioni

Periodo	Per l'ufficio	Per il commercio	Tecnologia per le comunicazioni
Primi anni '50			Sviluppo delle piastre per la commutazione elettronica
Metà anni '60	Applicazione della tecnologia fac simile		Introduzione della commutazione elettronica
Fine anni '60	Applicazione della tecnologia di copiatura su carta	Sviluppo dei registratori di cassa elettronici	
Primi anni '70	CALCOLATORI ELETTRONICI		
	ESTENSIONE DELLA TECNOLOGIA E DELLE APPLICAZIONI LSI		
Metà anni '70	Word Processor	Apparecchiature Pos-Point of sales	Transazioni via telefono
Fine anni '70	Copiatori elettronici intelligenti		– Digital exchange system – PBX basati sui computer – Appare il Viewdata in Inghilterra
Primi anni '80	Progetti per l'automazione dell'ufficio		
	TERZA GENERAZIONE DI SISTEMI ON-LINE		
Metà anni '80	Estensione delle applicazioni di Office Automation	Servizi On-Line alle risorse dei computer	Trasmissioni su larga banda per applicazioni rivolte all'ufficio e domestiche
	DECISION SUPPORT SYSTEM		

Come si può dedurre dalla Tavola 4.6, anche se i semiconduttori hanno iniziato ad infiltrarsi nei prodotti di consumo 10 anni dopo l'originario uso nel controllo numerico di macchine e strumenti, l'effetto non è meno sconvolgente. Se 1/4 di secolo di loro utilizzo (1955-1980) ha portato alla robotica possiamo attenderci risultati egualmente impressionanti dall'addomesticamento di semiconduttori prima che questa decade sia finita.

Infatti persone dotate di esperienza e d'intuito in questa industria hanno dichiarato che la tecnologia LSI, e la nuova VLSI, ha progredito così rapidamente che supererà presto la capacità degli utenti di utilizzare completamente la loro reale potenza. Abbiamo questo potentissimo strumento: dobbiamo domandarci che cosa farne. Vi è un mercato potenziale enorme nel campo dei personal computer, comunicazioni personali, nel settore degli elettrodomestici e delle automobili: tale mercato emergerà quando i progettatori LSI e i costruttori di apparecchiature avranno veramente appreso ciò che il mercato richiede.

Tavola 4.6: Sviluppi basati sui semiconduttori per i prodotti di consumo

Periodo di consumo	**Automobili**	**Macchinari di precisione**	**Elettronica di consumo**	**Apparecchiature per le comunicazioni**	**Personal computer**
Metà anni '60	Sviluppo dei regolatori elettronici	Macchine fotografiche elettroniche			
Fine anni '60	Trasmissione elettronica automatica	Orologi al quarzo (analogici)			
Primi anni '70	Apparecchiature anti slittamento				Calcolatrici basate sui microprocessori
Metà anni '70	Accensione elettronica	Orologi al quarzo (digitali)	Lavatrici completamente automatiche controllate da circuiti LSI		Hobbystica
Fine anni '70		Apparecchi fotografici con messa a fuoco automatica	Condizionamento ambientale controllato da microprocessori	Videotex	
Primi anni '80			Controllo di ambienti	Apparecchiature PCM audio	Computer ad uso domestico
Metà anni '80		Camere per riprese a colori Solid-State	Estensione delle applicazioni di controllo	HOME INFORMATION SYSTEMS	

La crescita dell'utilizzo della tecnologia LSI dall'industria elettronica ad una grande varietà di campi si basa sui vantaggi che si possono raggiungere quali:

- riduzione della dimensione del peso del prodotto,
- minor consumo di energia,
- maggior affidabilità,
- maggiore velocità ed efficienza,
- risparmio su tutto il costo del prodotto.

A sua volta l'ampliarsi delle prospettive applicative assume un ruolo significante nel giro d'affari della tecnologia LSI. L'integrazione a larga scala ha acquistato fama di alta qualità ed alta affidabilità, sostenuta dagli avanzati sistemi CAD (computer aided design), le cui applicazioni vedremo in dettaglio nella terza parte.

Ogni fase di prodotti basati sui semiconduttori ci dà almeno due possibilità: il nuovo prodotto in se stesso e le nuove apparecchiature elettroniche che lo utilizzano. È ovvio che ogni nuovo prodotto basato sui semiconduttori lanciato sul mercato ha sia nuove possibilità che limitazioni; ciò che spesso si dimentica è che tali limitazioni sono il punto di partenza per nuovi avanzamenti tecnologici.

Un preciso esempio è costituito dalla sostituzione dei circuiti stampati multilivello con i *supporti ceramici* in base ai quali sono realizzate le connessioni dei circuiti VLSI. La ceramica è un'antica tecnica: subito dopo gli albori della civiltà, l'uomo scoprì che la terracotta può essere facilmente modellata per formare recipienti a mattoni e che una volta cotti nel fuoco questi oggetti diventano densi, solidi ed insolubili nell'acqua.

La nuova industria della ceramica, sviluppatasi negli ultimi trent'anni, usa elementi ceramici di base purificati, particolarmente l'ossido di alluminio. La ceramica di alluminio ha un grado di durezza paragonabile a quello del diamante; con essa è possibile ottenere un eccellente isolamento elettrico ed un'altissima resistenza all'umidità ed al calore. Queste qualità sono utilissime nell'isolamento per i circuiti elettronici, nella realizzazione di strumenti da taglio e da incisione, nella realizzazione di cuscinetti, di strumenti chimici e scientifici; perché non dovrebbero essere utilissime anche nella realizzazione dei chip?

L'impaccamento ceramico non solo supporta la struttura del chip, ma fornisce anche una protezione ermetica contro l'umidità, il calore ed altri disturbi o interferenze ambientali. Un altro antico elemento, molto costoso, è l'oro il cui contributo alla tecnologia dei semiconduttori è incontestabile. Le statistiche industriali più attendibili indicano che la quantità di oro usata nell'industria dei componenti elettronici nel 1980 è stata di circa 80 tonnellate.

Per che cosa è usato l'oro nella microelettronica? La sua resistenza alla corrosione e la sua alta conduttività (la sua resistenza elettrica specifica è di soli 2,42 microhms per cm^3.) lo rendono particolarmente utilizzabile per i connettori, per i collegamenti delle piastre e circuiti stampati, per i relays e per gli interruttori. La tradizio-

nale immagine di un microprocessore situato al centro di tutto l'impaccamento lo mostra circondato da sottilissime connessioni d'oro.

Il solo ponte tra l'attività interna del chip e il mondo reale esterno è costituito da dei piedini dorati connessi internamente a loro volta con dei sottilissimi fili d'oro. L'intera industria microelettronica dipende dall'oro in quanto infallibile connettore. Sono proprio le connessioni il principale uso dell'oro nei circuiti elettronici; i costruttori si sono sforzati a lungo e pesantemente per trovarne un sostituto in modo da potersi proteggere dalle imprevedibili fluttuazioni del prezzo.

Le comunicazioni sono un esempio di mercato in cui la precisione e l'affidabilità sono fondamentali. L'oro, fondamentale nell'elettronica, è usato anche nei sistemi militari. La Figura 4.5 dà un esempio di circuito a spirale misto oro/rame facente parte di un'antenna a microndе su banda molto ampia usata nei sistemi per un'accuratissima rilevazione della direzione delle onde radio: il suo diametro è di circa 10 cm.

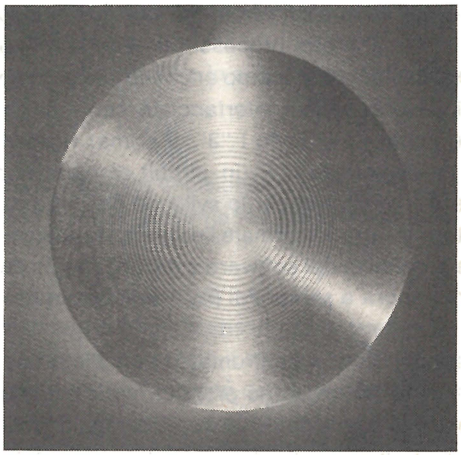


Figura 4.5 — esempio di una bobina realizzata con circuiti di rame ed oro estratta da un'antenna per microonde.

Considerando l'industria come un tutt'uno, la più vecchia ed accessibile tecnica usata è stata quella della placcatura. La placcatura ed il relativo sforzo per ridurne l'ampiezza dello strato è stata la strada tentata per ridurre il contenuto effettivo d'oro e per utilizzarne comunque le proprietà.

Vi sono stati poi tentativi per diminuire la quantità d'oro utilizzata impiegando leghe d'oro e argento o platino oppure impiegando leghe non d'oro ma di stagno, piombo e argento.

Se tali alternative sono ragionevolmente accettabili per gli ordinari prodotti commerciali, non sono invece affidabili a sufficienza come alternativa all'oro anche a

causa dei limiti nella conservazione. Solo l'oro dà garanzie sufficienti per i semiconduttori anche se molti produttori di circuiti stanno sperimentando nuove leghe metalliche; per applicazioni critiche tuttavia (e tra queste quelle militari) l'oro è ancora specificatamente richiesto.

6 — DAL PUNTO DI VISTA DELL'UTENTE

Tutte le volte che si considera un determinato prodotto e le sue potenzialità di mercato dovremmo sempre considerare anche il punto di vista dell'utente. I microprocessori sono utilizzati per realizzare un certo tipo di funzioni; una delle caratteristiche di base è la flessibilità. Devono essere attentamente considerate e definite le capacità ed i possibili usi.

Se si deve scegliere, i principali punti da sviluppare sono: "gli strumenti per lo sviluppo del software e poi ancora gli strumenti per lo sviluppo del software!".

Se possiamo applicare gli stessi processi per più campi applicativi, riusciamo a creare economie di scala ma aumentiamo anche le spese generali dal momento che le differenti funzioni devono essere interfacciate con software o microcodice.

Il secondo grande punto (il 4° dopo i "3" di prima) riguarda gli strumenti per lo sviluppo hardware. La tecnologia ICE (in-circuit emulation) permette l'estensione del microprocessore agli strumenti per lo sviluppo dell'hardware. Tuttavia dal punto di vista del progettatore del prodotto finale l'esigenza fondamentale è di valutare con grande attenzione le possibilità del software e del linguaggio del microprocessore da scegliere. Si pagherà ancora e sempre di più l'inefficienza nel caso che inefficienza vi sia.

Questo ha portato molti utenti a confrontare i compilatori dei microprocessori prima di sceglierli oppure a scriverne uno proprio: non c'è da sorprendersi se il costo del firmware paragonato a quello dell'hardware ha raggiunto il rapporto di 10 a 1 nei progetti più recenti.

Abbiamo parlato di prodotti finali, ma quali saranno? Si prevede che i prodotti basati sui microprocessori ricadranno, almeno fino al 1985, molto probabilmente nelle seguenti 9 categorie:

1. Comunicazione

Questo è uno dei maggiori mercati (molto probabilmente il maggiore) per i semiconduttori. Le possibilità previste non sono limitate alla strumentazione fisica ma comprendono anche l'incentivazione a sviluppare nuove ricerche e nuove possibili applicazioni sia da parte di ricercatori che di professionisti del settore.

2. Locomozione

In questo campo l'applicazione riguarderà il controllo della trasmissione del movimento per ottenere costi inferiori e per avere alternative all'idraulica, riguarderà inoltre la riduzione dei consumi d'energia.

3. Applicazioni domestiche
Le applicazioni riguarderanno il controllo del consumo dell'energia nel corso di tutta la giornata sia per ridurre i costi sia per rendere le applicazioni più efficienti.

4. Passatempi e divertimenti ad uso domestico
L'obiettivo sarà aumentare moltissimo il campo di applicazione e ridurne i costi.

5. Didattica con l'aiuto del computer
Si è ormai arrivati a un punto per cui il costo orario di una lezione fornita dal computer è molto inferiore al relativo costo orario di un insegnante. E questo tenendo conto della garanzia di un'uniformità nella qualità della didattica e una maggior motivazione all'apprendimento grazie all'uso dei grafici, colore, suono e immagine.

6. Automazione dell'ufficio
L'obiettivo è aumentare la produttività dell'ufficio e rendere più efficiente tutto il lavoro.

7. Automazione della produzione
L'obiettivo è aumentare la produttività e la qualità del prodotto con l'uso della robotica.

8. Supporti decisionali
L'obiettivo è aumentare le capacità decisionali dei dirigenti garantendo accessi interattivi a basi di dati distribuite e presentando più efficientemente i dati utilizzando colori e grafici.

9. Sistemi militari e applicazioni spaziali
È il Pentagono che solitamente paga le spese per la successiva generazione di semiconduttori e la tecnologia per i sistemi; il caso più recente riguarda i circuiti ad altissima integrazione e ad altissima velocità con i quali saranno costruite le apparecchiature della fine degli anni 80. Le più avanzate armi del futuro si baseranno su sofisticati algoritmi per scegliere i propri bersagli e per colpire le parti più vulnerabili. Ad esempio il missile Wasp sviluppato dall'aviazione americana per la penetrazione di superfici corazzate incorporerà componenti elettronici ad alta integrazione e a basso costo unitamente a processori di segnali ad alto impaccamento. La scelta automatica del bersaglio annullerà il tempo che l'operatore avrebbe dovuto spendere nella scelta del bersaglio aumentando di molto la tempestività dell'azione. La possibilità di sparare senza la necessità di doversi avvicinare troppo al bersaglio e di perdere tempo per mirare riduce moltissimo l'esposizione del pilota alle difese nemiche.

Si stima che siano 750.000 gli uomini d'affari che usano attualmente i microcomputer nel mondo industriale; l'acquisto di tali apparecchiature viene fatto molto spesso nei negozi per l'hobbystica e con investimenti personali che il capo del centro e dell'EDP non può certo controllare. Come risultato gran parte di questi uomini d'affari, dirigenti, professionisti e impiegati stanno imparando a gestirsi direttamente

i loro problemi elaborativi adattando il computer da tavolo alle necessità del loro ambiente professionale e usando software in package senza metterci le mani o modificarlo, come invece molti informatici hanno l'abitudine di fare.

Per frenare la crescita del lavoro d'ufficio, grazie ai semiconduttori si può ora progettare e pianificare l'automazione dell'ufficio. Si è unanimi nel considerare il mercato dotato di grandissime potenzialità: non è per niente implicata la vendita o l'uso di prodotti che offrano solo una funzione, come il trattamento dei testi (word processing) o le telecomunicazioni. Tutto ciò comporta che i fornitori si sforzino di costruire sistemi integrati multifunzionali:

- centralini telefonici (PBX),
- videotex,
- fac-simile,
- piccoli sistemi di computer per applicazioni aziendali,
- personal computer,
- sistemi per il trattamento dei testi,
- terminali per la visualizzazione dei dati,
- apparecchiature per la memorizzazione dei dati, apparecchiature per la fotocopiatura,
- microfilm,
- e soprattutto competenza e un'adeguata tempificazione e pianificazione per le realizzazioni.

Poco a poco ci rendiamo conto che è proprio il tempo uno dei più grandi fattori nella sfida che è lanciata con l'office automation al fine di ottenere maggior produttività. Infine una domanda critica sta nel prevedere quali saranno i fornitori che, entrati nel mercato e oggi attivi nella competizione, arriveranno al traguardo finale.

CAPITOLO 5

UNA POLITICA PER L'INFORMAZIONE

1 – INTRODUZIONE

La tecnologia non ha caratteristiche precise ed il fatto che ci sia amica o nemica dipende solo da noi. Sia una persona che un'azienda o una nazione per essere competitivi debbono cogliere le possibilità e affrontare e risolvere i problemi. Lo stiamo veramente facendo? Siamo pronti a far fronte ai problemi ed al confronto con nuove situazioni che già oggi si possono anticipare? Si possono predire fin da oggi difficoltà; abbiamo i mezzi per progettare, per risolvere i problemi di domani, ma ce ne avvantaggiamo realmente?

La proliferazione di applicazioni basate sui microprocessori non significa necessariamente che ci si rende conto dei processi in corso. Vi è una necessità sempre più stringente di una politica dell'informatica a lungo termine e di un piano-guida per le realizzazioni. Molti dei prodotti che abbiamo descritto sono disponibili; la questione che resta in sospeso riguarda la suddivisione del mercato internazionale, la capacità di far fronte alla continua crescita del mercato e l'attività di ricerca.

Queste questioni sono estremamente pressanti per le società americane del settore che vedono la propria clientela di base erosa dall'attività aggressiva dei concorrenti, particolarmente i Giapponesi. Ormai tutti sanno bene che i semiconduttori, i microprocessori, le basi di dati, i computer e le comunicazioni sono diventati una parte indispensabile nelle attività fondamentali in ogni tipo d'industria: commerciale, produttiva e finanziaria; retrocedere avrebbe drammatiche ripercussioni economiche e sociali.

Anche se nelle applicazioni domestiche per la gestione delle informazioni il microprocessore è diventato molto più che un giocattolo, esso ha ancora molta strada da fare prima di diventare comune come l'attuale radio o televisione. Da quel momento le finalità ed il carattere dei computer domestici cambieranno considerevolmente rispetto ad oggi. Riportando quanto dicevo in un mio recente libro sul Videotex interattivo ("Il computer addomesticato" di D.N. Chorafas edito in Italia da Franco Angeli a cura di Gianfranco Minati): *"il computer domestico sarà molto probabil-*

mente una parte integrante dell'attività familiare, gestendo automaticamente per i membri della famiglia funzioni finanziarie e sociali. Dopo che saranno state create queste nuove funzioni ed il computer domestico avrà classificato dati e informazioni, la vita senza di esso potrebbe diventare difficile o addirittura insostenibile...".

Che cosa stiamo facendo per il domani? Siamo pronti per i problemi e le opportunità come si presenteranno? La razionalità e il desiderio di sopravvivere non sono necessariamente le caratteristiche della nostra epoca e neppure dei governi.

In Europa come in America miliardi di dollari sono riversati in cadenti aziende del passato mentre molti maggiori sforzi e investimenti dovrebbero essere posti nello sviluppo delle *compunicazioni*, (n.d.T. — *dal neologismo americano* compunication = *computer + comunication, volendo con ciò indicare la sempre più stretta integrazione delle applicazioni e delle tecnologie dei computer e delle comunicazioni.*) la vera industria del futuro. Per molti governi questo non è di per sé né vero né evidente. In Europa il MEC deve ancora definire un piano coerente per la tecnologia dell'informazione; ogni governo della Comunità si serve in gran parte dei prodotti (per le *compunicazioni*) costruiti nel proprio paese inducendo lo stesso comportamento in molte aziende operanti nell'ambito pubblico. Le difficoltà abbondano: la Commissione Europea per l'Elettronica raccomanda che ogni paese membro apra almeno il 10% del proprio mercato delle compunicazioni agli altri paesi membri. È una politica per sopravvivere o piuttosto una garanzia di fallimento?

In confronto alle misure che sono state adottate dal governo giapponese, le politiche federali americane non assicurano maggior successo. Sono necessarie politiche che abbiano come prospettiva la sfida del futuro: e per questo non bastano le glorie del passato. Le società americane produttrici di computer hanno circa l'80% del mercato europeo; i Giapponesi però stanno arrivando sia in Europa che in USA ed i governi dovrebbero essere ormai certi che:

— l'alto livello della tecnologia implicata e

— i vari fronti con cui l'industria dovrà confrontarsi nello stesso tempo

richiedono immensi fondi che dovranno essere non solo procurati ma anche adeguatamente allocati; richiederanno inoltre sforzi per assicurarsi la maggior parte possibile del mercato mondiale, al fine di alimentare un'industria polivalente ed efficiente ma anche sempre affamata di capitali. Per stabilire valide basi di partenza bisogna definire un piano strategico ad alto contenuto tecnico-professionale; il che certamente non si fa rimanendo indecisi sulla strada da prendere condizionati da problemi politici interni, da opportunismi del momento che portano a proteggere aziende fuori mercato già 20 anni fa; tanto meno subendo l'influenza di grosse aziende la cui attività avrebbe dovuto già da tempo essere trasferita al Terzo Mondo oppure completamente reimpostata.

2 – PREPARARSI PER LA RIVOLUZIONE DEL SAPERE

Non solo le aziende ma anche intere nazioni si troveranno esposte alle tempeste di questo decennio. La Germania, fino a poco tempo fa uno dei principali stati industriali, sta facendo fronte a uno sforzo colossale teso a rimodellare un'economia la cui forza era basata su industrie tradizionali e mature come la chimica, l'automobilistica e quella per la produzione di apparecchiature meccaniche ed elettroniche. E questo è solo uno dei tanti possibili esempi; può ben rappresentare la condizione prevalente in Inghilterra, in Francia, in Italia, in Svizzera ed anche negli Stati Uniti.

Il problema è che la Germania, come molte altre nazioni industriali, non ha aziende di punta nei campi di maggior sviluppo o industrie ad altissima tecnologia, dall'elettronica alla biochimica. Inoltre le esportazioni tedesche sono in declino: vi è una crescente competitività che viene dal Giappone per i settori ad alta tecnologia e dai paesi in via di sviluppo per i settori a bassissimo contenuto tecnologico. Ne risulta un'esposizione dell'industria tedesca a crescenti e sempre più severe fluttuazioni commerciali; il che finisce a riguardare la stessa nazione ed a lungo andare anche gli altri paesi.

Non è solamente l'orientamento strategico ma anche l'impressionante necessario aumento di capitali da investire, richiesti per creare nuove tecnologie, che limita il numero di paesi e aziende che possono partecipare allo sviluppo di un'industria ad alta tecnologia. Stiamo andando verso un tipo di sviluppo che prevede possibilità diverse dal passato per chi parte dall'inizio: non si può certo creare un nuovo sistema VLSI con la relativa facilità con cui trattavamo la corrispondente tecnologia della metà degli anni 70. Lo stesso vale per l'automazione dell'ufficio e per la robotica.

Dobbiamo imparare a vivere con la tecnologia in un ambiente ad alto contenuto professionale quale è quello che ci aspetta.

Peter Drucker predisse nel 1968 che dal 1985 metà del prodotto nazionale lordo americano sarebbe stato dedicato alla produzione, distribuzione e consumo di professionalità e conoscenza, cosa che sta avvenendo. Negli Stati Uniti circa il 40% della forza lavoro è effettivamente occupata in tal tipo di attività. L'industria che sta dietro a un tale settore è una vera forza trainante: mantiene proficuo il mercato dei computer e dei semiconduttori ed esalta le funzioni della nuova figura professionale definita da Peter Drucker, "the knowledge worker". Siamo appena agli inizi dell'era in cui vi saranno strumenti molto significativi per una tale attività, come i terminali grazie ai quali una persona può considerare simultaneamente diversi aspetti di una stessa realtà, usando così il sistema per decidere piuttosto che per introdurre e ricevere informazioni solamente.

Dovremmo ormai sapere che la tecnologia è un'arma a doppio taglio: solleva l'uomo dal lavoro manuale ma lo obbliga anche ad una continua evoluzione aggiornando le proprie conoscenze per evitare l'obsolescenza. È la tecnologia che spinge le aziende verso più ampi orizzonti ma che anche ne mina le basi tradizionali, il modo di produrre e il modo di vendere usualmente seguiti. Se le persone, le aziende ed i paesi non sono pronti vi saranno gravi conseguenze: la tecnologia sarà utilizzata male,

si perderà la competitività ed i costi non saranno controbilanciati da adeguati guadagni. Se sarà lasciata indietro la conoscenza sparirà anche la fiducia in essa e, insieme, la responsabilizzazione.

Prepararsi a una tale rivoluzione significherà, per i paesi ricchi, che nel campo industriale le vecchie grandi aziende si riuniranno; le industrie dell'acciaio, automobilistiche, tessili, chimiche e della gomma dovrebbero modificare la propria struttura produttiva, sostituita dalla robotica e da processi ad altissimo contenuto tecnologico. Dobbiamo valutare attentamente il fatto che in tutti i paesi sviluppati sono in atto:

1. una notevole tendenza verso attività ad alto contenuto professionale, che richiedono *investimenti di grossi capitali,* in nuove ed emergenti linee di prodotti e mercati;

2. una rapida crescita della necessità di *gestire la produttività* di risorse basilari quali nell'ordine la conoscenza, il tempo, il capitale e le disponibilità fisicamente presenti;

3. l'*inseparabilità,* sempre più marcata, dell'investimento di capitali dalla competenza e l'attività tecnico-professionale;

4. la consapevolezza non ancora raggiunta che la produttività delle persone richiede una *continua attività formativa* di durata identica alla presenza del lavoratore nella azienda;

5. la fondamentale realtà, di cui non ci si è ancora resi conto completamente, che la professionalità e conoscenza devono essere applicate *a tutte le risorse:* il tempo, il capitale, le disponibilità fisicamente presenti e la stessa professionalità;

6. che tutto ciò dev'essere fatto all'interno di *un piano a lungo termine* adeguatamente progettato e ben coordinato; non si può vivere alla giornata con soluzioni occasionali.

Non possiamo confrontarci con la ampia e a lungo termine strategia giapponese con programmi scoordinati e frammentari. Andare verso un nuovo e gran parte sconosciuto campo come quello delle comunicazioni significherà anche essere pronti a dover affrontare inconvenienti ed imprevisti: come tutti gli innovatori dobbiamo saperci accollare i rischi, non aver paura degli errori, riconoscerli e imparare da essi. Sicuramente non possiamo stare senza iniziativa dietro le barriere di un protezionismo destinato al disastro, a meno che non si voglia proprio essere sopraffatti dalla realtà.

3 — UNA TECNOLOGIA INNOVATIVA

Parlando dell'innovatività della tecnologia spesso si dimentica l'ovvia considerazione che se le leggi della fisica sono esattamente le stesse in tutto il mondo, così non è per le leggi stabilite dall'uomo. La capacità competitiva dipende in gran parte da leggi stabilite dell'uomo: come lavora la gente in termini di qualità, quantità e pro-

duttività; quanto consistente e concreto è il loro modo di pensare, quanto sono razionali le loro strategie. La frammentazione e la proliferazione di tecniche e di modi di produrre (con la conseguente difficoltà ad ottimizzare) causano una situazione critica. In ogni cosa però il nemico più grande è rappresentato dalla mancanza di una visione generale.

L'insuccesso è fondamentalmente il risultato che consegue alla mancanza di obiettivi: se non sappiamo cosa vogliamo che accada saremo anche incapaci di far operare adeguati strumenti per ottenere risultati accessibili. È evidente però che non possiamo stare senza far niente mentre altri erodono il nostro mercato e sfruttano le nostre possibilità; ecco alcuni dati che si commetano da soli circa la crescita e lo sviluppo industriale:

- gli Stati Uniti hanno attualmente circa il 45% del mercato mondiale di sistemi installati ed il Giappone il 10%;
- le aziende giapponesi del settore controllano i 3/4 del proprio mercato interno, il che significa il 7,5% del mercato mondiale;
- le aziende giapponesi sperano di raggiungere nel 1985 il 20% del mercato mondiale;
- nel 1980 le aziende giapponesi produttrici di semiconduttori hanno conquistato il 42% del mercato americano dei chip a 16 KB, aiutati da una tremenda penuria di chip verificatasi allora sul mercato.

I guai vanno oltre queste statistiche e la tendenza vista può essere indicativa. Sia in America sia, a maggior ragione, in Europa l'industria informatica è alla ricerca di una politica. Bisogna inoltre considerare che l'industria informatica è il fulcro di tutti gli altri settori dell'economia grazie al suo alto contenuto tecnologico; e questo influisce poco favorevolmente sugli altri settori. Chi pianificherà la transizione al nuovo ambiente? Una terza rivoluzione industriale mal pianificata potrebbe causare vere e proprie miserie oltre che danneggiare la stessa democrazia.

Dobbiamo andare al nocciolo dei problemi riguardanti questa transizione e superare l'aspetto esteriore se vogliamo trovare valide soluzioni. Dobbiamo pianificare l'incombente rivoluzione basata sui microprocessori, prevederne le conseguenze sull'industria e sui problemi piuttosto che lasciarli in balia a forze cieche. Si deve dar senso, razionalizzare e imporre la nostra volontà agli elementi in conflitto.

Nessuno dovrebbe tentare di escludere la tecnologia che si basa sui microprocessori dai prodotti e dai processi produttivi allo scopo di salvare posti di lavoro. Questo significherebbe solamente realizzare prodotti non competitivi rispetto a quelli prodotti in altri paesi che hanno scelto la giusta strada. Del resto anche se si adottasse una tale irrazionale soluzione rimarrebbero comunque milioni di disoccupati permanenti a causa dell'obsolescenza della loro professionalità rispetto all'avanzamento della tecnologia. Ecco come e perché sono moltissime le persone che diven-

tano mentalmente vecchie, incapaci di essere flessibili per acquisire le novità; in realtà poi nessuno dà loro realmente la possibilità di rinnovarsi.

Lasciando da parte i problemi sociali e industriali e parlando invece di soldi, un paese o un continente tecnologicamente arretrato avrebbe grande difficoltà nella propria bilancia dei pagamenti e nel mantenere tutti i propri disoccupati ad un livello di vita standard al quale si erano abituati; avrebbe senz'altro difficoltà molto maggiori di quelle eventualmente presenti in un'economia efficiente e totalmente automatizzata. Il cambiamento richiede una totale sostituzione di concetti; la società potrà operare solo dando a ciascuno accessibilità all'informazione: esattamente al contrario di ciò che accade con i beni fisici più si distribuisce informazione, dati e competenza più arricchiamo la nostra conoscenza.

È tanto importante capire tutto questo che è bene ripeterlo. È un vecchio principio quello che dice che informazione e conoscenza significano potere. Ma l'informazione, e più particolarmente la conoscenza, hanno le seguenti caratteristiche che sono in contrasto con quelle dei beni fisici:

- più li suddividiamo e più ne abbiamo;
- se smettiamo di suddividerli, decadono e possono anche diventare "beni negativi" e cioé controproducenti.

Non solo tutto ciò non è ancora entrato a far parte della conoscenza comune ma vi è anche la triste realtà con cui ci confrontiamo oggi consistente nel fatto che nessun'epoca ha tanto disincentivato lo sforzo personale, l'innovazione e la produttività in così poco tempo come la nostra. Bisogna trovare soluzioni e cominciare a rendersi conto che solo una combinazione di informazioni adeguate alla società, un dominio nello sviluppo della tecnologia, una formazione part-time per tutti e per tutta la vita ed una mente aperta al cambiamento, possono aiutarci a superare le crisi incombenti e a farci vivere su nuove e più solide basi.

4 — LA GESTIONE DEL CAMBIAMENTO

Se non sapremo gestire il cambiamento saremo sopraffatti dall'incombere degli eventi. La gestione del cambiamento ha però dei prerequisiti: particolare enfasi dev'essere messa sullo sforzo per la ricerca e lo sviluppo; la formazione deve diventare una parte vitale del nostro sistema; bisogna avere il coraggio di abolire l'obbligatorietà della messa in pensione di chiunque non sia in realtà invecchiato, allo scopo di difendere la continuità della conoscenza; bisogna poi assicurare un passaggio ordinato e pianificato verso una società caratterizzata dal tempo libero, dal momento che le ore lavorative di chi è occupato saranno forzatamente diminuite. Solo un piano ben pensato e progettato può risolvere gli attuali e incombenti problemi sociali, culturali, economici ed industriali, garantendo la sopravvivenza della nostra società con una consapevole trasformazione.

Gli avanzamenti tecnologici implicano sempre più numerosi cambiamenti nel nostro modo di pensare. Un esempio è offerto dall'attività educativa. Gli anni 80 vedranno il passaggio dall'educazione collettiva a quella individuale attraverso i microprocessori interattivi, la conversione da un'istruzione passiva ad attiva grazie alla disponibilità di computer che supporteranno gli strumenti didattici; la realizzazione di progetti didattici di lunga portata e in modo distribuito; la sostituzione dei rigidi programmi annuali attualmente previsti per l'età scolastica con un'attività educativa che si protrae per tutta la vita.

La forza di una nazione poggia sulla sua capacità di formare validi strateghi che sanno porsi obiettivi economicamente vincenti. In realtà tutta la nostra filosofia dovrà evolversi: abbiamo sempre pensato allo sviluppo come ad un fatto strettamente economico. Dobbiamo renderci conto che ciò è sbagliato: lo sviluppo è prima di tutto umano e sociale e sta proprio qui la grande sfida che si può affrontare solo se si è capaci di gestire il cambiamento.

Prepararsi ad affrontare tutto ciò significa anche far tesoro della considerazione fatta da Drucker in merito al fatto che viviamo in un periodo turbinoso e che rende il nostro ambiente irregolare ed imprevedibile per vari aspetti. Le reali cause sottostanti possono però essere analizzate, previste e gestite. Bisogna mettere il massimo della capacità di pensiero nel modo con cui vengono risolti i problemi, anzi all'inizio potremmo non renderci neppure conto che c'è un problema. Può essere che appaia la necessità di mettere un certo tipo di ordine e di razionalità, ma che tipo di ordine?

Il complicato mosaico sociale e la conseguente incertezza indotta sono all'origine di quest'epoca turbinosa; tutti noi dovremmo apprezzare il fatto che in un tale periodo non vi sono solo avversità ma anche grandi opportunità per tutti coloro che possono capire, accettare ed utilizzare le nuove realtà. È prima di tutto tempo per la leader ship: i dirigenti possono preparare se stessi e le proprie organizzazioni a periodi difficili grazie ad una continua valutazione di tutte le operazioni sotto il loro controllo: ogni prodotto, servizio ed attività deve essere messo letteralmente sotto processo ogni 2-3 anni con domande provocatorie di questo tipo:

- se non operassimo già in questa linea di prodotto ci vorremmo entrare conoscendo ciò che sappiamo oggi?
- come possiamo ridurre o almeno bloccare la richiesta di nuove risorse?
- quali sono le alternative che abbiamo? siamo pronti? se sì
- come possiamo trarre vantaggio dai nostri punti forti? come possiamo sostenere le opportunità e risolvere i nostri problemi?

La capacità di dirigere e di gestire in un'epoca turbinosa richiede strategie per il domani capaci di anticipare *quando* e *dove* avverranno con molta probabilità i maggiori cambiamenti e *quali* essi saranno. Si avranno grandi cambiamenti dallo scontro tra chi decide in modo tradizionale e chi saprà trarre vantaggio da valutazioni reali-

stiche: già oggi cominciano a vedersi tali tendenze positive. Vi sono contemporaneamente grosse resistenze. Per tutti coloro che stanno costruendo il futuro i timori stanno nei danni che possono essere causati dai "colpi di coda" del precedente "ordine" che non vuol capire che tempi turbolenti spazzano via ciò che è obsoleto: sistemi, concetti e valori.

Gli innovatori possono trovare opportunità, innescate dalle tecnologie; ed anche organizzazioni che possono dare alle persone la sensazione di controllare, di gestire meglio la propria vita; e di valorizzarla. Qui sta l'interesse per i prossimi dieci anni; il futuro potrà essere proprio come lo vogliamo. A questo proposito sono decisive le nostre azioni così come le non-azioni e la stessa incapacità di essere protagonisti. Sono in questione *scelte* che ci riguardano tutti, individualmente e collettivamente e cioé il nostro destino. Ci sarà possibile scegliere molto meglio se ci convinceremo che un'epoca di turbolenza è pericolosa proprio per la tentazione di negare la realtà delle cose.

Si deve mantenere il personale aggiornato e ad alto livello professionale; le organizzazioni efficienti e capaci, allocando le risorse non per inerzia o secondo la tradizione ma seguendo le opportunità e secondo i risultati. Le risorse devono essere concentrate: la fragmentazione inibisce la flessibilità. Bisogna controllare che l'azienda non "ingrassi": uno sviluppo in soli termini quantitativi e non di qualità e di caratteristiche del prodotto porta a ridurre la reale produttività; il conseguente pericolo sta nella precarietà di tale sviluppo e nelle possibili degenerazioni.

Il momento per porsi problemi difficili, per interventi "chirurgici", per ristrutturare e riorientare, per formare e seguire il capitale umano è quando l'azienda va bene non quando è in difficoltà. Successo da sempre significa avere il coraggio di abbandonare avvedutamente le vecchie strade per seguire nuovi obiettivi. E per raggiungere con successo gli obiettivi si deve:

- definire molto precisamente i contorni delle attività future: persone valide, capaci e professionalmente preparate sono il fattore decisivo per ottenere guadagni;
- identificare le conoscenze e la professionalità disponibile e quelle da sviluppare con adeguata formazione;
- schierare conoscenze e valore professionale contro le necessità richieste dalle nuove attività; una mancanza in questo campo porta ad esporsi all'insuccesso degli sforzi intrappresi.

Quando, ad esempio, cominciamo a distribuire terminali per tutta l'organizzazione dovremmo sapere che ciò avrà influenza su tutti; cambia la suddivisione per piani e reparti, cambiano le condizioni di lavoro, cambia la sala spedizione, anche i muri si "spostano", cambia insomma il modo stesso con cui si fa il lavoro di tutti i giorni. Non c'è alternativa alla assoluta necessità di gestire le persone in questo processo di conversione. Dovremmo renderci bene conto che anche la selezione degli stessi istruttori è critica: la Blue Cross/Blue Shield (un'organizzazione di previdenza sani-

taria per i militari) dà un buon esempio sia di aumento della produttività attraverso la gestione di richieste on-line sia delle più grosse manchevolezze nella pianificazione verificatasi durante l'iniziale fase di trasformazione.

Alla fine, l'aumento di produttività è stato impressionante; prima dell'avviamento della soluzione on-line, agli inizi del 1980, la gestione delle richieste per il solo stato del Texas richiedeva 900 persone, che lavoravano in grandissima parte in modo batch. Con la soluzione on-line si ebbe una riduzione di 200 persone ed altri 200 posti furono eliminati nella metà del 1981. Per rendere però possibili tutti questi risparmi la Blue Cross/Blue Shield mise in atto un programma di ristrutturazione di 1 anno e mezzo la cui realizzazione fu di gran lunga la più complessa che ogni altra conversione ad un ambiente on-line.

Le esperienze in una tale impresa erano veramente poche; una gran quantità di aspetti fu dimenticata nella prima fase di conversione e si dovette procedere alla correzione nella seconda. Il fornitore dei sistemi promise consistenti aiuti ma i responsabili della Blue Cross/Blue Shield ebbero egualmente grosse difficoltà: "i manuali che si ottengono dal fornitore non sono indirizzati all'utente. Così bisogna riscriverseli tutti". Si trattava di 18 manuali per un totale di 2000 pagine.

Un'altra attività che dev'essere intrappresa nello sforzo di riaddestrare centinaia di persone riguarda il lavoro alla tastiera. Come ha detto uno dei responsabili "la capacità di operare alla tastiera ha grande influenza e non si può addestrare la gente prima di averla convertita a tale modo di lavorare. Una delle maggiori lezioni apprese da questa esperienza è la necessità di abbondare nei supporti; non è il caso di risparmiare sulle lire...". È stata sottolineata anche la necessità di far fronte alle contingenze come l'assenteismo e le interruzioni del lavoro per qualsiasi ragione.

Si fece molta attenzione alla necessità di fornire a ciascuno nozioni solide e convincenti: "non bisogna insegnare alla gente in modo differenziato o incompatibile. Si deve seguire un approccio integrato e valutare con molta attenzione sia il personale da formare sia lo stesso istruttore". Si insisteva sulla necessità d'iniziare la fase di addestramento in modo che vi fosse il tempo per reagire agli imprevisti della cosiddetta legge di Murphy ("tutto ciò che di sbagliato può accadere prima o poi accade").

Si deve essere in grado di affrontare gli imprevisti derivanti dall'inevitabile resistenza al cambiamento e di imporre lo sviluppo desiderato.

È necessario predisporre piani con precise scadenze per tutti i singoli passi, assegnare le responsabilità, distribuire gli incarichi; definire meccanismi di controllo; sviluppare la costituzione di gruppi di lavoro; eliminare conflitti personali; descrivere (e per iscritto) le nuove posizioni; annunciare i nuovi ruoli e le relative responsabilità; controllare i livelli salariali e le fasce; instaurare un sistema d'incentivi basato sul rendimento. Non ci sono soluzioni facili: è fondamentale la formazione del personale di vendita compreso il livello direttivo. È necessario disporre di persone di alto livello che devono essere reperite; nuove politiche hanno bisogno di nuove filosofie; ad un certo punto si deve poter dire: "Ecco, siamo proprio un'azienda nuova ora".

5 — VERSO UNA POLITICA DELL'INFORMAZIONE

È certo che gli anni 80 saranno un periodo in cui la tecnologia avrà grossi impatti sociali e indurrà significativi cambiamenti. Praticamente ogni casa dei paesi industrializzati ha già le due apparecchiature necessarie per la trasmissione e la ricezione diretta di voce, dati, testi ed informazioni grafiche: il telefono e la televisione. I normali supporti per l'informazione, come la carta da giornale subiranno dei grossi limiti nel loro sviluppo (Figura 5.1). Questa è l'epoca del Viewdata, dei canali di trasmissione di testi e dati in grandissima quantità.

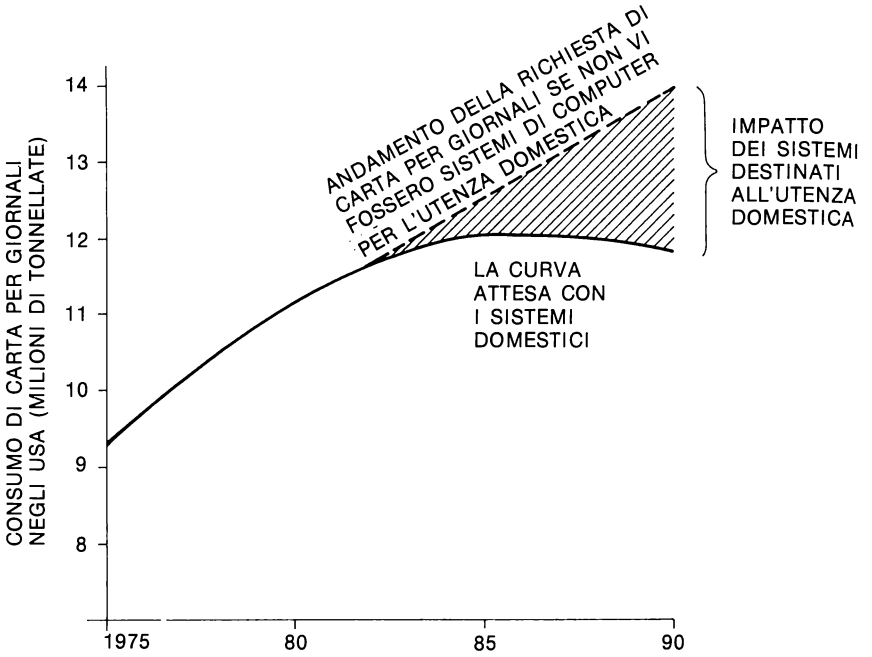


Figura 5.1 — il previsto effetto nel 1990 dei sistemi d'informazione domestici sul consumo di giornali su carta; si sta sviluppando un nuovo mercato ad altissimo potenziale.

Negli anni 80 il responsabile dell'elaborazione dei dati sarà il responsabile della tecnologia piuttosto che uno sviluppatore di software e anche di hardware come fu negli anni 60 e 70. Dovrà guarire di molte delle ferite che conseguiranno da un'integrazione non pianificata di sistemi, apparecchiature e servizi, che è andata avanti in questo decennio. Con i sistemi di computer abbiamo preso la cattiva abitudine di concentrarci sulle apparecchiature, facendo cioé il contrario di una valutazione critica su ciò che la tecnologia mette a disposizione per il tipo di azienda in cui operiamo. Vediamo infatti adesso i risultati osservando le difficoltà che l'automazione del-

l'ufficio causa a varie organizzazioni che si basano sull'elaborazione centralizzata dei dati.

La preparazione richiede concentrazione degli sforzi sui servizi per l'utente finale, linguaggi naturali di accesso ed aiuti per far avanzare realizzazioni basate sulla tecnologia più efficiente. Il che a sua volta mette in particolare evidenza l'esigenza di professionalità.

La produttività dell'"addetto alla conoscenza" dovrebbe essere un elemento chiave nello sforzo di assicurare alla direzione la capacità di rispondere alle proprie esigenze: la produttività richiede apprendimento continuo. Dobbiamo assolutamente cambiare l'ovvio: ciascuno dovrebbe costantemente concentrarsi su come potrebbe far meglio ciò che viene regolarmente svolto. L'elemento chiave per il successo di un qualunque sistema sono sempre state le persone che gestiscono e usano il sistema: tutto ciò, al giorno d'oggi, sta continuamente aumentando d'importanza.

In alcuni tipi di aziende, come le banche e le assicurazioni, l'elaborazione dei dati tratta le effettive operazioni di cui vive l'azienda; una gestione infelice delle risorse informatiche, o anche il semplice fatto di rimanere tecnologicamente arretrati, influenza negativamente le entrate ed i guadagni. Vi sono cambiamenti che possono non avvenire secondo le tendenze tradizionali: dall'input di dati e testi fino ai sistemi per aiutare nelle fasi decisionali. In una banca un miglioramento al sistema ha ridotto la percentuale di dati di input rifiutati dal 17% a meno di 0,5% (l'apparecchiatura è programmata per ottenere anche interrogazioni-utente e può gestire centinaia di terminali).

Quello che spesse volte si trascura è tutto l'ammontare di lavoro preparatorio che è premessa all'ottenimento di risultati. L'hardware sta diventando il fattore di costo meno significativo in molte applicazioni, il che ha precise conseguenze quando si considera il costo delle soluzioni. Sono veramente svariati i fattori tecnici che devono essere tenuti presenti; per individuare un corretto rapporto costo-prestazione; bisogna tener presenti vari fattori tecnici e non si può assolutamente andare avanti senza precise prospettive e previsioni. Una valida politica richiede l'armonizzazione delle comunicazioni e del trattamento delle informazioni: ciò riguarda editori, autori, il mondo dell'editoria in genere e i costruttori di computer e di apparecchiature per le telecomunicazioni. Come l'interesse nel campo per l'elaborazione delle informazioni diventa sempre più diffuso così accade anche per la necessità di coordinamento e di integrazione. Si deve dare il giusto peso all'influenza della tecnologia: sono moltissimi gli aspetti che sono imposti dalla fusione dei computer e delle comunicazioni. Salta in primo piano l'ampliamento dell'utenza; l'informazione non è più riservata a un'élite scientifica. Il che sottolinea la necessità di sicurezza, protezione, disponibilità nell'accesso alle risorse d'informazioni che stanno diventando disponibili. Un altro fatto egualmente importante è che la parte del prodotto nazionale lordo dedicata all'informazione (includendo pure i lavoratori del settore) rappresenta circa la metà di tutta la ricchezza nazionale e supera il contributo dato dalla parte dell'economia destinata alla produzione. Non possiamo rischiare di rimanere accecati da questa realtà.

6 — "L'ADDETTO ALLA CONOSCENZA"

Oggi la maggior parte della forza lavoro americana è composta di "colletti bianchi": 44,8 confrontati con 29,5 milioni di operai. "Gli addetti alla conoscenza", e cioé tutte le persone occupate in attività riguardanti l'informazione, rappresentano da sole circa la metà della forza lavoro; a casa di questi lavoratori va il 53% del totale nazionale dei salari; da ciò segue che il 45% del prodotto nazionale lordo si riferisce a quest'attività.

Il tipo di società emergente dischiude nuovi orizzonti dal punto di vista sociale e della stessa creatività umana; bisogna però definire:

- *chi* sono gli addetti alla conoscenza? distinguendo tra coloro che generano creativamente informazioni (i quali necessitano di un'educazione specialistica) ed i lavoratori di routine che pure operano nel campo dell'informazione;
- *dove* gli addetti alla conoscenza dovrebbero essere addestrati? è un presupposto fondamentale stabilire un adeguato tipo di formazione per poter poi stabilire degli obiettivi. Dopodiché è possibile guardare a ciò che accade dopo gli studi;
- *quali* sono le funzioni relative alla nuova informazione? Questo richiede una classificazione abbastanza flessibile e aperta agli sviluppi futuri ma anche in grado di soddisfare le esigenze più immediate;
- *quando* dovrebbero essere aggiornate le cognizioni degli "addetti alla conoscenza"? Sono richiesti differenti livelli di capacità nella gestione dell'informazione a diversi livelli di sviluppo professionale che dovrebbero essere a loro volta ben stabiliti;
- *perché* l'accesso alle informazioni dovrebbe essere riservato alle sole persone autorizzate? Non possiamo realizzare misure di sicurezza senza aver risposto a questa domanda; bisogna anche definire quando, perché e chi è autorizzato ad accedere alle basi di dati e testi ed a quale livello.

Risposte valide e puntuali richiedono *una politica nazionale dell'informatica e dell'informazione; una legislazione sulla libertà dell'informazione e sulla relativa protezione e riservatezze.* Sono richiesti impegnativi interventi legislativi nel campo del copyright; del trasferimento elettronico dei fondi; della posta elettronica; ed una regolamentazione di politiche di interessi contrastanti. Altri problemi di regolamentazione andranno affrontati poi. Negli Stati Uniti ad esempio l'industria delle comunicazioni è regolamentata, mentre quella dei computer non lo è. Ma dove inizia l'una e dove finisce l'altra?

In breve, abbiamo bisogno di un insieme di principi in grado di fungere da idee guida; di leggi capaci di far fronte alla sfuggente, svariata e spesso indefinibile natura dell'*informazione*. La nuova struttura giuridica dovrebbe sostenere le necessità per un lavoro a maggior contenuto professionale: è da ciò che dipende il futuro delle nostre società. Anche se non vi è nessun dubbio che la regolamentazione giuridica,

con le risorse logiche e fisiche previste, è così importante, non dovremmo dimenticare che dietro ogni sforzo o progetto l'elemento chiave è sempre l'uomo: microprocessori o no è ancora l'uomo il punto centrale.

Dobbiamo preparare i dipendenti con un'adeguata formazione, con un giusto orientamento e un'adeguata esperienza. Dovremmo saper creare progetti in ambienti che offrono alla gente l'opportunità di "riuscire". *Riuscire* significa saper andare dall'inizio alla fine, fino all'obiettivo, secondo i tempi e all'interno del budget previsto, orientando il personale alle opportunità future. Se si riesce a dare finalità, a rendere creativo il nostro capitale umano, finalità che deve essere considerata irrinunciabile nel nuovo ambiente, in cui le persone pensano, lavorano ed operano, possiamo ingigantire la portata degli sforzi umani attraverso il potere messoci a disposizione con i computer; di conseguenza i sistemi saranno anche più facilmente comprensibili ed usabili; non bisogna dimenticare infatti che l'usabilità dei dati e dei testi è più importante degli stessi programmi che scriviamo.

Alla fine degli anni 70 è apparso il trattamento dei testi e della parola: questo però non è che la punta dell'iceberg. Negli anni 80 infatti stiamo entrando nella fase del trattamento dei grafici, della formazione delle immagini e di nuove possibilità nel trattamento della voce. Alla fine di questo decennio si avrà la disponibilità di diverse tecnologie, il che richiede manager polivalenti capaci di gestire lo sviluppo dei sistemi. Il management sia negli ambienti industriali che finanziari deve riconoscere la necessità di usare le *comunicazioni* non tanto come un servizio in astratto ma proprio come una risorsa di tipo domestico. E questo richiede funzionalità educativa e processi di coordinamento che disseminino tecnologia a beneficio della società.

CAPITOLO 6

IL WAFER

1 – INTRODUZIONE

La progettazione di circuiti può essere meglio realizzata se fatta con l'aiuto del computer, in modo da determinare lo schema di sistemazione degli elementi circuitali ottimale per il risparmio di spazio. Operare con il computer aiuta a preparare insiemi delle cosiddette maschere, ognuna delle quali contiene il modello per un singolo livello. Generalmente ciò è fatto dapprima realizzando un ingrandimento multistrato di ogni livello che è poi verificato, corretto e rifatto finchè è perfetto. La precisione nei processi produttivi è diventata di fondamentale importanza anche per l'aumentare dei costi che sono richiesti per realizzare l'effettiva produzione. Una linea di produzione completamente nuova arriva oggi a costare 40 milioni di dollari; le aziende produttrici di semiconduttori devono di conseguenza essere più selettive in merito ai nuovi prodotti e ai nuovi mercati. La Motorola, per esempio, sta riducendo il numero di famiglie di prodotti a logica differente che può produrre con profitto; le principali aziende hanno recepito il messaggio che solo aziende capaci di aumentare il loro margine di profitto, in realtà molto poche tra esse, saranno capaci di affrontare lo sviluppo ed i costi necessari per produrre secondo la tecnologia VLSI.

Sono passati da un pezzo i tempi nei quali il progettatore di una apparecchiatura microelettronica poteva studiare il comportamento del circuito che intendeva proporre costruendo un prototipo su scheda con componenti discreti. Oggi invece il circuito è rappresentato sull'apparecchiatura CAD (Computer Aided Design) grazie ad un modello matematico le cui caratteristiche sono studiate con l'aiuto del computer. Il modello a sua volta deve essere basato su una descrizione accurata delle proprietà elettriche dei singoli elementi circuitali.

È stato proprio il CAD il fattore principale, ovviamente con la ricerca rivolta alle proprietà fisiche dei materiali, che ha reso possibile la tecnologia VLSI. Gli elementi in gioco sono sempre più lontani dalla possibilità di un contatto umano e quindi verificarne la descrizione è sempre più difficile. Operare con l'aiuto del computer aiuta a risolvere questo problema: un grande vantaggio della simulazione sta nel fatto che il

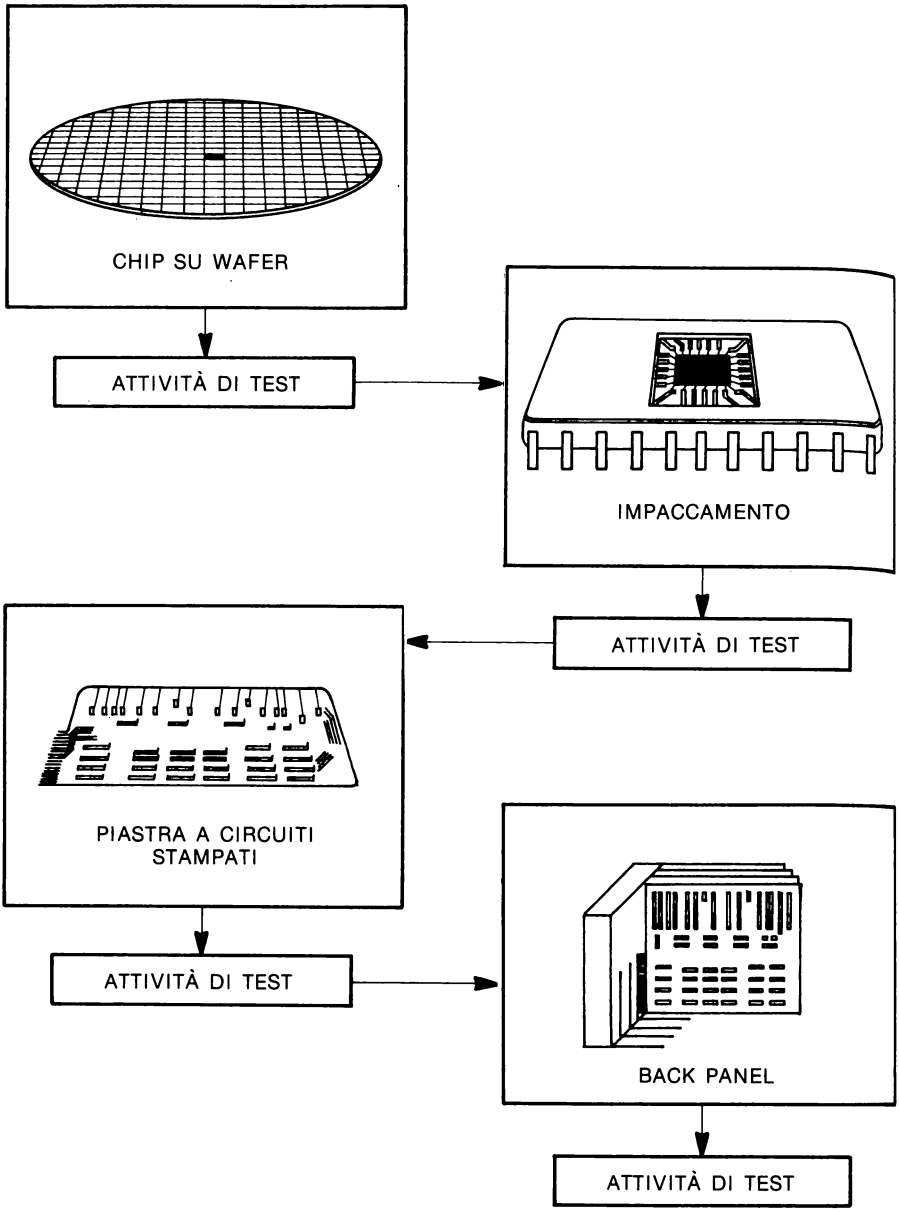


Figura 6.1 — 4 fasi principali nel ciclo di produzione di un chip; si parte dal chip sul wafer, all'attività di test, all'impaccamento, di nuovo un'attività di test, collocazione sulla piastra a circuiti stampati, ancora test, assemblaggio del computer e test finale.

progettatore può cambiare un elemento del circuito grazie al supporto software e quindi osservare immediatamente l'effetto che la modifica ha sul comportamento del circuito. Un presupposto dunque per successivi avanzamenti, che non deve essere sottovalutato, sta nella possibilità di disporre e realizzare modelli per gli elementi circuitali.

L'intero processo produttivo deve poi essere progettato in tutte le sue fasi e scrupolosamente seguito passo per passo tenendo presente i principi di progettazione e di produzione ma anche con statistiche relative alla qualità. Faremo seguire esempi concreti nei capitoli 11 e 12, quando parleremo del CAD e delle sue applicazioni. Prendiamo qui in esame solamente le fasi principali che caratterizzano il processo di fabbricazione. La Figura 6.1 illustra le 4 fasi principali del ciclo produttivo di un chip, ciascuna seguita da adeguate procedure di test. All'inizio viene posto il chip nel wafer, non provato; il suo costo relativo può essere considerato attorno ai 10 cent. Dopodichè si ha la fase di test che gioca un ruolo fondamentale nel determinare il costo finale.

Il singolo chip può raggiungere il costo di un dollaro. Dopodichè si ha la fase di impaccamento e di nuovo operazioni di test; il costo complessivo è ora attorno a 1 dollaro e mezzo.

Da questo momento in poi l'applicazione a cui il chip impaccato è destinato, gioca un ruolo importante. Assumendo che la scheda a circuito stampato debba essere usata per costruire un computer, il valore aggiunto farà arrivare il prezzo a 2 dollari e 50. Suddividendo il costo dei cavi di connessione, dell'alimentatore e del contenitore il valore totale sarà di poco inferiore a 3 dollari. Occupiamoci ora delle attività che comportano "valore aggiunto".

2 – LA FOTOMASCHERA

Lo scopo di questa discussione introduttiva è stato quello di presentare in poche parole il processo di produzione e di assemblaggio, ma anche di sottolineare che quando parliamo di progettazione e produzione di semiconduttori, sono le attività basate sull'automazione che hanno giocato un ruolo fondamentale per arrivare ai risultati ottenuti fino ad oggi.

La progettazione di un circuito sarà tipicamente realizzata con l'aiuto del computer per determinare la sistemazione migliore dei circuiti e per sfruttare al massimo lo spazio. Questo schema è poi usato per preparare un insieme di fotomaschere ciascuna contenente il modello di un singolo livello. Evidentemente bisogna partire già con la concezione del nuovo circuito.

Le specifiche preliminari del progetto e del processo di fabbricazione saranno tipicamente realizzate su apparecchiature CAD in modo da poter ottenere disegno e schema del circuito. Due risultati sono di fondamentale importanza:

- la generazione di un reticolo ottico che porterà alle maschere principali create con il metodo "step-and-repeat";
- la generazione del modello con fasci elettronici.

La Figura 6.2 illustra il processo produttivo seguito per la tecnologia LSI e che segue i risultati CAD sopra descritti. Sono preparate copie delle maschere per la fase di fotolitografia; i 5 processi che caratterizzano il primo livello sono l'attività d'isolamento, il polisilicio, la rimozione dell'ossido, la struttura metallica e il rivestimento. Ognuna influenzerà il wafer di silicio ossidato rispettivamente creando: isolamento, definizione di un gate, contatti, interconnessioni.

Molti dei processi MOS per i circuiti LSI usano più di 5 maschere; le fasi fondamentali, tuttavia, sono quelle descritte qui.

Dopo quest'ultima fase di produzione l'attenzione è posta sull'attività di test, di sezionamento, sul trattamento di ciascun elemento, sull'impaccamento, sulla produzione del pacchetto sigillato e finalmente sul test finale. La complessità di queste fasi rende evidente la necessità di una soluzione sistematica ben pianificata: i modelli devono rivelare non solo come l'elemento lavora ma anche come è stato fatto. Successivi progressi nella microelettronica dipendono in modo consistente dalla nostra capacità di prevedere le proprietà di un transistor dalle stesse fasi produttive. Consideriamo per un attimo questo processo.

Il prodotto che finalmente sarà consegnato al costruttore di circuiti integrati è un sottilissimo dischetto circolare: il wafer. Essi devono essere assolutamente puri ed estremamente piatti per produrre i circuiti funzionali, e cioè i chip. Se vogliamo però ottenere chip ad alta densità ed anche aumentare la qualità finale l'attenzione dev'essere posta ancora sul wafer. Atomi di impurità sono introdotti nel wafer attraverso la diffusione o l'inserimento di ioni. Entrambi i processi modificano il comportamento elettrico del cristallo in quelle aree in cui sono stati introdotti gli atomi. Saper definire e controllare le aree sottoposte a diffusione o inserimento di ioni e le loro relazioni con le altre regioni del wafer è il prerequisito fondamentale per la costruzione di transistor, diodi e resistori, di componenti per i circuiti integrati.

Migliaia di transistor, diodi e resistori vengono così costruiti nel wafer ed una volta che ciò è fatto sono depositate sulla superficie sottilissime linee metalliche che devono fungere da collegamenti elettrici tra i componenti. Possiamo ben renderci conto perchè, con una progettazione caratterizzata da una tale complessità, il controllo di qualità è, con la precisione, un'attività tanto importante: un'area spostata anche di 0,00002 cm. può causare un guasto assolutamente critico nel circuito integrato, il che aiuta a comprendere la delicatezza della progettazione.

Il diametro di un wafer varia tipicamente tra i 10 e i 15 cm. e i suoi circuiti più grossi possono variare da poco più di 1,3 a poco meno di 2 cm^2. Questo fa subito intendere che su un singolo wafer possono essere realizzati centinaia di circuiti integrati; la fotomaschera da usare nel processo di fabbricazione del wafer conterrà allora centinaia di schemi dello stesso circuito.

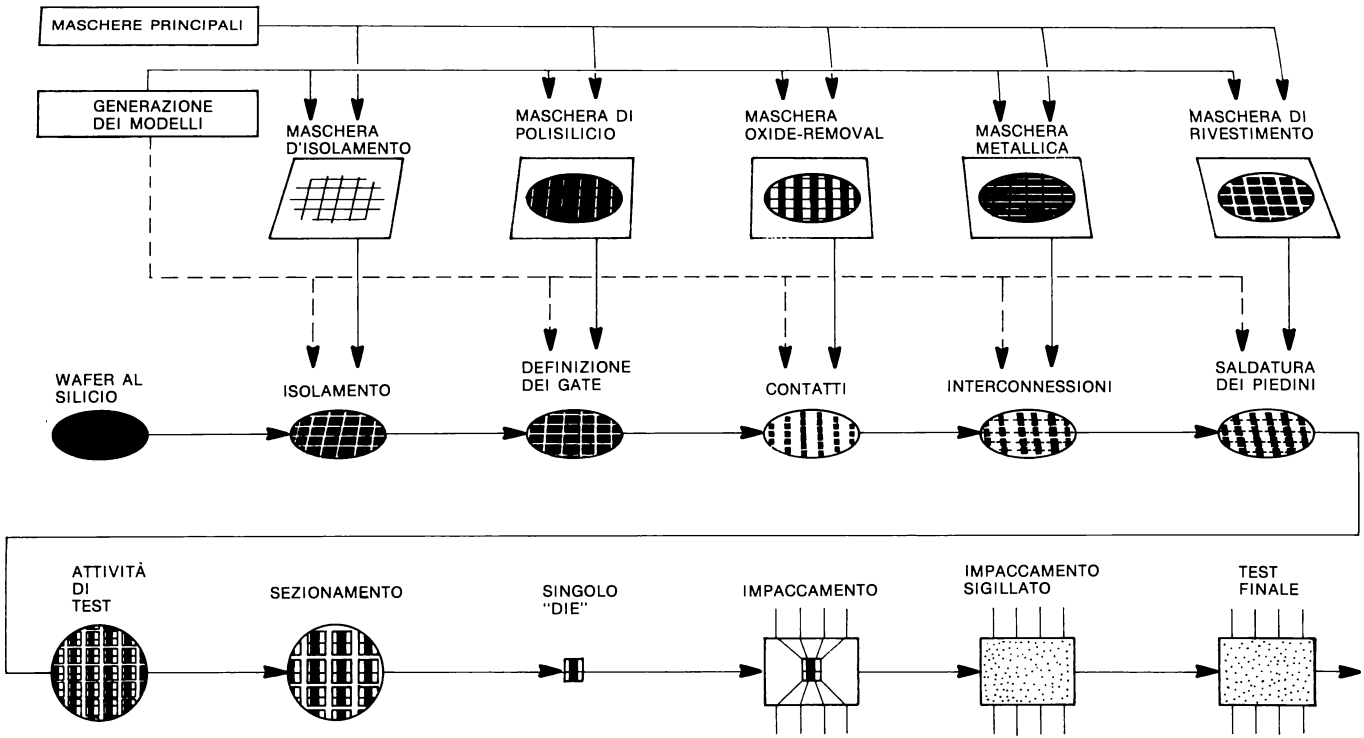


Figura 6.2 — la realizzazione di circuiti integrati LSI, a partire dalla maschera d'isolamento al test finale del prodotto impaccato.

I limiti dipendono in gran parte dallo stato dell'arte della tecnologia. La Figura 6.3 rappresenta l'evoluzione del diametro del wafer e delle sue dimensioni su un periodo di 12 anni (1969-1981). Si possono rilevare alcune tendenze. Il diametro del wafer industrialmente prodotto è aumentato in questo periodo di un fattore eguale a 3 e cioè da 5 a 15 cm. circa. Corrispondentemente la dimensione dell'"elemento" è aumentato di un fattore eguale a 2,3.

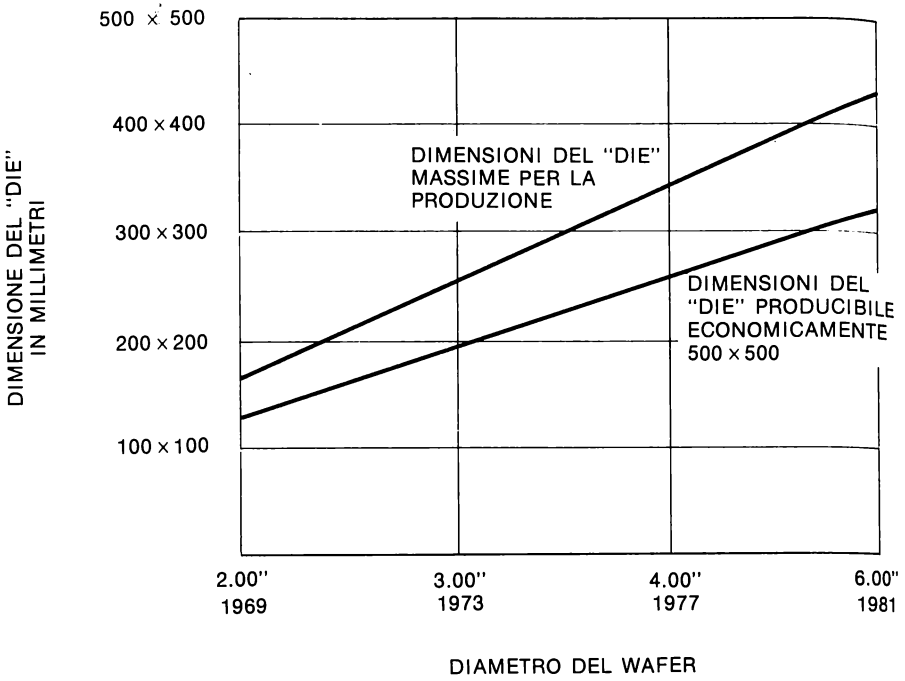


Figura 6.3 — evoluzione del diametro del wafer e delle dimensioni su un periodo di 12 anni.

In secondo luogo bisogna tener presente che vi è sempre una differenza tra la massima dimensione dell'elemento e quella conveniente economicamente. Le conseguenze dei rapporti suddetti consistono in un incremento del "gap". Uno dei limiti tecnici più importanti che ostacolano la strada verso semiconduttori sempre più complessi e che possono supportare un maggior numero di funzioni rispetto alle generazioni precedenti, è costituito proprio dalla fotomaschera.

La fotomaschera è il catalizzatore dell'intero processo. Dal punto di vista dei processi di produzione, il punto oggi è costituito dal rivestimento del wafer; il processo è costituito dalla proiezione di fasci di luce ultravioletta che passa attraverso aree trasparenti. Dopo questa operazione il wafer è immerso in un solvente chimico e lo

strato fotoresistente è dissolto in quelle aree che sono state esposte. Dove non vi era strato fotoresistente la superficie protettiva di biossido di silicio viene incisa e rimane, polimerizzata, nelle regioni esposte (o viceversa secondo il tipo di materiale fotoresistente); tutto il rimanente strato fotoresistente è strappato via dal wafer. Dopodiché il wafer è immerso in un "forno" a temperatura costante che contiene gas con la voluta concentrazione di atomi della sostanza con cui si vuol creare l'impurità; l'altissima temperatura causa la diffusione degli atomi di gas nelle zone di wafer prive della protezione di biossido di silicio si tratta ovviamente di un processo che chiede moltissima accuratezza.

Alla fine di questa fase si arriva a disporre di un insieme completo di maschere corrette e le "incisioni" sono consegnate al reparto di produzione industriale del wafer dove saranno usate per produrre la desiderata sequenza di modelli.

Il reparto destinato alla produzione tipicamente riceve:

- i wafer di silicio,
- la disponibilità dei processi chimici,
- le fotomaschere;

il processo è ovviamente automatizzato ad un notevole livello. Tipicamente una piccola linea produttiva impiega cento persone che possono costruire migliaia di wafer per settimana; assumendo che vi siano 100 circuiti operanti per wafer un'azienda del genere può produrre un numero di circuiti nell'ordine di 10 milioni per anno. Sono svariati i prerequisiti che devono essere osservati quali l'estrema pulizia e l'ordine che devono caratterizzare la linea di produzione di wafer: è a causa delle dimensioni estremamente ridotte delle strutture che devono essere fabbricate che non può essere tollerata neanche la più piccola particella estranea.

3 – OTTIMIZZARE LA PRODUZIONE

Consideriamo ancora una volta i punti fondamentali. La premessa sottintesa è che poiché i circuiti su un wafer sono così piccoli essi possono essere fabbricati simultaneamente, fianco a fianco, su una singola piastra di silicio. Di conseguenza ogni fotomaschera (tipicamente una piastra vetrosa con un lato di poco inferiore ai 13 cm.) ha un singolo modello ripetuto varie volte sulla sua superficie. Un'immagine ridotta fotograficamente è riprodotta centinaia di volte in un processo di tipo "step and repeat", per produrre un insieme di maschere base di dimensione finale da cui vengono riprodotte moltissime copie che dovranno servire per la produzione.

La tecnologia della fotolitografia che è stata stabile per molti anni, ha subito anche svariati cambiamenti: ad esempio la proiezione litografica ha sostituito la litografia per contatto e si è così avuta una diminuzione di difetti mentre la disponibilità di maschere di alta qualità ha aiutato a ridurre moltissimo la dimensione del costo delle apparecchiature microelettroniche. Sono stati sviluppati nuovi metodi di litografia che hanno portato a ridurre 10 volte la dimensione di ciascun elemento circui-

tale ed a ridurre un centinaio di volte l'insieme dell'area circuitale. Gradualmente con la diminuzione dei costi, la litografia basata sui fasci di elettroni ha trovato applicazione nella fabbricazione dei wafer ed è nata una nuova generazione di circuiti microelettronici più complessi.

Per apprezzare il contributo che il CAD ed il computer in genere hanno dato alla progettazione di wafer e di circuiti, dovremmo ricordare che i circuiti integrati hanno offerto soluzioni in campo elettronico per aumentare l'affidabilità, ridurre il consumo di energia e le dimensioni. Un approccio al problema basato sul lavoro manuale sarebbe stato proibitivo dal punto di vista costi in quanto sarebbe stato difficilissimo disegnare i circuiti integrati e progettarne la produzione con tali metodi. Dall'esperienza della metà degli anni 60 possiamo ricavare che anche se questi circuiti erano assolutamente semplici rispetto agli standard attuali (si parlava infatti di 20-30 transistor) i costi erano veramente alti e le applicazioni piuttosto limitate.

La struttura di un circuito integrato è complessa sia per quanto riguarda la topografia della sua superficie sia per quanto riguarda la composizione interna. Ogni elemento di tale apparecchiatura ha un'intricata architettura tridimensionale che deve essere riprodotta esattamente in ogni circuito. La struttura è composta di vari livelli ognuno dei quali è un dettagliato modello; ed alcuni dei livelli stanno all'interno del wafer di silicio mentre altri sono concentrati alla superficie.

Come vedremo in un apposito paragrafo la fase di fabbricazione del wafer finisce con un test elettrico: ogni sua parte è sottoposta a verifica per determinare se funziona correttamente. Quelle difettose sono segnate con una macchia d'inchiostro per indicare che dovrebbero essere scartate.

Il processo di produzione consiste nell'organizzare le sequenze dei livelli in perfetta corrispondenza con quanto stabilito dal progettatore del circuito. Nel fare questo devono essere assicurati due obiettivi: alta affidabilità con il più basso costo possibile per le funzioni elettroniche realizzate.

Le caratteristiche fondamentali del processo di produzione della microelettronica sono giustificate proprio nei termini di questi due obiettivi. Vi è inoltre, per esempio, la fabbricazione di più circuiti nello stesso tempo per trarre vantaggio dalla produzione su larga scala; la riduzione dei circuiti alla più piccola dimensione possibile; e la maggior semplificazione raggiungibile degli stessi processi tecnologici.

Molti sviluppi della produzione dei circuiti microelettronici sono tesi a garantire che la riduzione dei costi continuerà. Teoricamente ogni fase del processo, dalla fotolitografia all'impaccamento, svolge un ruolo importante in ogni possibile avanzamento in questa direzione.

La progettazione e la produzione sono due meccanismi che devono operare in assoluto sincronismo per assicurare competitività. Il loro coordinamento è stata la forza trainante dietro gli sforzi che hanno portato ad una determinata funzione elettronica; dividendo i costi di un fattore uguale a 2 più o meno ogni 18 mesi. In un senso più ampio questi risultati sono stati ottenuti con una grande ingegnosità nel progettare i circuiti e con l'adozione di efficienti processi di produzione.

Questa dualità di problemi e di azione può essere vista sempre presente nello

sforzo di continua miniaturizzazione degli elementi circuitali e delle loro interconnessioni; lo stesso nella graduale eliminazione di difetti in varie fasi di fabbricazione. Grazie ad una minor frequenza di difetti la produzione di buoni circuiti su un dato wafer aumenta, e così l'affidabilità, mentre i costi vengono ridotti.

Per più di un decennio il maggior ostacolo alla realizzazione di più funzioni per circuito è stato costituito proprio dalla fase di produzione. Circuiti più complessi erano realizzati con un maggior numero di apparecchiature, quindi con una maggior probabilità di difetti; questo comportava che una maggior percentuale del numero totale di apparecchiature prodotte dovesse essere scartato.

È del tutto ovvio che quando il costo derivante dai difetti eccede quanto risparmiato nell'assemblaggio e nelle operazioni di test, il costo per funzione aumenta piuttosto che diminuire. In questo senso una progettazione che tenga conto della convenienza nei costi è un compromesso tra:

- alti costi di assemblaggio corrispondenti ad un basso livello d'integrazione,
- significativi costi relativi alle apparecchiature scartate e conseguenti a fattori ancora sconosciuti che intervengono ad alti livelli d'integrazione.

Come risultato gli sviluppi tecnologici sono stati concentrati prima di tutto nell'aumentare la qualità della produzione sia riducendo la percentuale di difetti sia riducendo le dimensioni. Evidentemente dev'essere posta una grande attenzione ai controlli del processo produttivo, alla loro efficienza e purezza fisica per ridurre la percentuale degli scarti. Particelle di polvere in ogni processo critico portano alla costruzione di pessime apparecchiature: è per questo che moltissime operazioni devono essere realizzate in ambienti assolutamente puliti.

4 – PRECISIONE NELLA FABBRICAZIONE

I wafer di puro cristallo di silicio che supportano i circuiti sono attualmente di 7-10 cm. di diametro. Dal momento che una delle economie fondamentali nella realizzazione di circuiti microelettronici è la fabbricazione simultanea di centinaia di circuiti, fianco a fianco sullo stesso wafer, è ovvio che questo è il punto critico.

Per ottenere una sempre maggiore economia di scala i costruttori stanno producendo 100 wafer in una sola fase. Dopo che un wafer è passato attraverso le fasi di fabbricazione viene sezionato in singole parti, o *chip,* ognuna delle quali è un completo circuito microelettronico.

Parlando dei problemi di produzione abbiamo visto che non tutti i circuiti opereranno correttamente; non solo i difetti in un wafer non possono essere eliminati ma un singolo difetto può rovinare tutto un circuito. Una scalfittura anche solo nell'ordine di pochi micron può interrompere una connessione elettrica e poichè è impossibile riparare il circuito difettoso sia per motivi fisici che economici esso viene semplicemente scartato.

Alla fine di queste fasi, dopo i test, il circuito completato deve essere sottoposto ad un'ultima operazione: l'impaccamento. Deve essere posto in una sorta di conte-

nitore protettivo ed avere collegamenti con il suo ambiente. Vi sono varie modalità con cui si può realizzare l'impaccamento, ma tutte hanno in comune il fatto che il contenitore è molto più largo e robusto della stessa piastrina di silicio.

Che la precisione nella fabbricazione sia necessaria lo si può ben apprezzare quando il wafer viene sezionato per separare i singoli chip, usualmente seguendo una linea di demarcazione e spezzando il wafer lungo essa. La precisione è necessaria anche quando i circuiti sono saldati nei package e sono connessi ad elettrodi che permettono la comunicazione con l'esterno attraverso fili sottilissimi. Dopo che il circuito impaccato è passato attraverso una serie esaustiva di test elettrici per essere sicuri del suo perfetto funzionamento e che continuerà ad operare affidabilmente per vari anni la precisione è ancora un fattore decisivo.

Nè l'affidabilità, nè un valido rapporto prezzo/prestazioni possono essere costruiti nel chip alla fine del processo produttivo; entrambe, insieme alla funzionalità, devono essere parte integrante della progettazione oppure non esisteranno del tutto.

Dal momento che un alto livello d'integrazione è un prerequisito per avere bassi costi, è comprensibile il nostro interesse nell'altissima integrazione (VLSI) che sta diventando la tecnologia dominante della microelettronica di questo decennio, permettendo di superare vecchi limiti d'integrazione e di velocità circuitali. Con i processi tecnologici della microelettronica è possibile mettere più funzioni su un chip: il risultato è un'entrata accelerata della microelettronica in settori precedentemente proibitivi per i costi, grazie a una valida soluzione dei problemi di fabbricazione.

La strada verso un aumento sempre maggiore della densità di componenti stimola alla ricerca nelle tecniche per il trattamento di dimensioni piccolissime (submicron) per eliminare i limiti della difrazione ottica imposti dagli attuali metodi della fotolitografia a contatto. Una delle nuove tecniche (la cosiddetta E-beam a scrittura diretta) usa un fascio di elettroni per la scansione, controllato via computer e con una lunghezza d'onda più piccola di quella della luce. Altre aree di ricerca sono quelle riguardanti la proiezione, la litografia a raggi X, i procedimenti a secco, la produzione automatica di wafer e la realizzazione di modelli circuitali con l'aiuto del computer.

Come risultato sono previste densità circuitali maggiori di mezzo milione di transistor su un singolo chip unitamente ad una nuova supervelocità circuitale. L'industria dei semiconduttori ha sperimentato circuiti di tipo D-ECL (dielectrically-isolated emitter coupled logic) con ritardi di 170 picosecondi. Apparecchiature sperimentali hanno inoltre permesso di avere ritardi di propagazione nei gate inferiori a 200 picosecondi a livelli estremamente bassi di potenza (picojoule). Si sta ora applicando questa tecnologia alle applicazioni per la produzione nello spazio di circuiti con altissima integrazione, basso consumo ed altissima velocità; l'elemento chiave rimane, comunque, la precisione.

Se si desidera ottenere la necessaria precisione ed ottimizzare i processi produttivi la progettazione e l'individuazione dell'esatta posizione degli elementi circuitali dovrebbero essere fatti con l'aiuto del computer. Il progettatore opererà tipicamente su un terminale CAD, ponendo e muovendo gli elementi circuitali osservando l'intero schema ingrandito centinaia di volte al video del suo posto di lavoro: l'informazione

specificherà la forma di ogni livello del circuito integrato e sarà di facile reperibilità, con tutte le modifiche effettuate, accedendo alla base di dati di ingegneria attraverso processi eseguiti automaticamente dal computer.

L'obiettivo di uno schema ottimale sta nell'ottenere le funzioni desiderate nel minor spazio possibile. Ad ogni fase di questo processo, compresa quella finale in cui è completato l'intero circuito, lo schema è verificato attraverso dettagliati grafici fatti dal computer. Poichè ciascun elemento circuitale può essere così piccolo da raggiungere pochi micron, i grafici di controllo devono essere fortemente ingranditi; solitamente l'ingrandimento è di 500 volte la vera dimensione del circuito.

Con tali strumenti e metodi il tempo richiesto per completare la fase di progettazione di un circuito è diminuito molto; nello stesso tempo automatizzando le fasi più banali i progettisti possono dedicare la loro attenzione ad attività più impegnative e di maggior livello. Le soluzioni basate sul CAD hanno avuto un impatto sui prerequisiti di progettazione che è facile da immaginare; con i metodi basati sul computer anche il tempo e la creatività che sono necessari variano grandemente con la natura del circuito.

I circuiti più difficili da disegnare sono i microprocessori. Altre apparecchiature, come le memorie statiche dotate di modelli largamente ripetitivi possono essere progettati e messi in atto più rapidamente, in alcuni casi in soli pochi mesi.

Solitamente, in un sistema CAD, quando il progetto e lo schema di un nuovo circuito sono completi, la memoria del computer contiene una lista delle esatte posizioni di ciascun elemento. In base a questa descrizione è preparato l'insieme di fotomaschere che abbiamo sopra trattato, ognuna delle quali contiene il modello di un singolo livello del circuito. Viene creata una base di dati di ingegneria, in grado di assistere la progettazione del prodotto in studio ma anche disponibile interattivamente all'ingegneria per la produzione e ad altri specialisti. L'uso del computer è fondamentale per la riduzione delle dimensioni degli elementi circuitali di base, permettendoci di addensare circuiti più complessi all'interno di un'area definita. A ciò hanno anche contribuito in modo fondamentale i progressi nella risoluzione ottenuta con i processi di fotoincisione.

La riduzione delle dimensioni degli elementi circuitali non solo ha conseguenze sui costi ma aumenta anche l'efficienza. I tempi di ritardo sono direttamente proporzionali alle dimensioni degli elementi circuitali: la conseguenza è che i circuiti diventano più veloci quanto più diventano piccoli. L'energia necessaria inoltre è ridotta proporzionalmente all'area dei circuiti.

A questo punto nessuno può dire con precisione quali siano i limiti imposti dalla fisica. L'ipotesi prevalente è che le dimensioni lineari degli elementi circuitali possono essere ridotti ad 1/5 di quelle attuali prima di incontrare limitazioni sostanziali. Ma ciò è ancora da provare.

5 – PROGETTARE UNA STRATEGIA DI MERCATO

Sono molte le aziende che sono state costituite per rispondere alle esigenze dei produttori di circuiti integrati. Forniscono di tutto: cristalli di silicio, strumenti per la

progettazione basati sul computer, apparecchiature per effettuare i test automaticamente, strumentazioni speciali. Allo stesso modo molte sono le aziende specializzate nella produzione di circuiti integrati che forniscono ai loro clienti chip di memoria e microprocessori.

La concorrenza avviene su 3 fronti: le funzioni che sono realizzate su un chip (si veda nel capitolo 4 la discussione sul micromainframe); l'affidabilità delle apparecchiature ed i costi.

Le riduzioni di prezzo sono necessarie per sviluppare il mercato, ma il solo prezzo non basta per vincere, i mercati possono anche essere persi.

Non sono le compagnie che erano in prima linea nel mercato della valvola che hanno sviluppato il successore: il transistor. Delle dieci principali aziende americane che nel 1955 producevano valvole solo due sono oggi tra le dieci principali aziende americane produttrici di semiconduttori, la gran parte di queste dieci aziende è stata formata dopo il 1955.

Il rapido sviluppo del mercato ha trovato le aziende esistenti troppo occupate ad espandere il loro orizzonte ed a curare le linee di produzione alle quali già si erano dedicate. Si è così lasciata aperta la porta a nuovi tentativi condotti da imprenditori dotati di solide basi nella ricerca che avevano sufficiente fiducia nella nuova tecnologia da rischiare e da entrare nell'arte del marketing. Tipicamente però problemi finanziari e di vendita hanno condotto le nuove aziende lontane dai loro fondatori originali. In un'industria, in cui la riduzione del prezzo per prodotto procede all'incredibile ritmo del 25% all'anno, la motivazione a fare ricerca e sviluppo ed avere avanzamenti ad alto livello tecnologico capaci di assicurare all'azienda questo margine del 25% sui costi coincide con la stessa possibilità di sopravvivere. A supporto di ciò entrano in gioco le strategie di progettazione che abbiamo considerato in questo capitolo cominciando soprattutto dal wafer.

Come si è già più volte detto progressi nel solo settore dei costi, anche se estremamente necessari, non forniscono una risposta completa; vi sono altri temi che sono altrettanto importanti e di cui abbiamo parlato, come l'affidabilità, le funzioni realizzate su un singolo chip e le strategie di mercato.

Sia la funzionalità che l'affidabilità di un'apparecchiatura sono parte integrante delle premesse d'ingegneria, mentre la strategia di mercato è strettamente connessa all'utilizzo finale che porta a sua volta in primo piano il tipo di vendita progettata. Vi sono precise ragioni per cui un'interruzione in uno sforzo che dovrebbe invece essere continuo, può avere risultati catastrofici. Un ritardo di un anno può ad un'azienda dare uno svantaggio molto importante rispetto alla concorrenza. Lo sviluppo del prodotto, della produzione e del mercato è una parte critica della strategia di un'azienda e l'obsolescenza è un pericolo che si corre ogni giorno.

È del tutto evidente poi l'importanza della produzione ed in particolare dell'impatto della tecnologia VLSI sulla capacità produttiva. Sono due le alternative possibili:

- efficienza costante, il che significa una strategia di *bassi costi,*
- *costi costanti* che sono legati ad una strategia basata su un continuo aumento dell'efficienza.

Teoricamente un approccio valido consiste nel disporre di apparecchiature per la produzione flessibili e funzionalmente aggiornabili mano a mano che nuove tecnologie divengono disponibili. Questo però ha dei limiti pratici. I cambiamenti nella tecnologia dei chip richiedono nuovi investimenti di capitale, richiedono d'intensificare la ricerca di nuove soluzioni per i processi di produzione.

Come risultato i produttori "di punta" di circuiti integrati spendono circa il 10% delle loro entrate di vendita nel campo della ricerca e nello sviluppo. La rendita di un investimento di successo nella ricerca e nello sviluppo può essere veramente grande ma così grande può anche essere il costo del fallimento. Mai prima d'ora sono stati così numerosi i fattori che combinati tra loro costringono un'azienda a mantenersi dinamica.

CAPITOLO 7

QUALITY ASSURANCE

1 – INTRODUZIONE

L'affidabilità non viene certo costruita nel chip al momento del test; l'affidabilità per l'utente finale è (o almeno dovrebbe essere) il risultato del progetto d'ingegneria già nelle sue fasi iniziali. Quello che si può fare con i test al livello della fabbricazione è assicurare che il prodotto costruito sia *conforme alle specifiche iniziali.*

Per avere successo nel garantire la qualità dobbiamo avere precisi obiettivi fin dal momento della progettazione originaria sia su come produrre che su come offrire il prodotto. A che scopo stiamo costruendo una determinata apparecchiatura? qual è il nostro obiettivo? Nel campo delle comunicazioni c'è l'esempio della AT&T che si attende che il ciclo di vita delle sue apparecchiature sia di almeno 25 anni. Questo livello di disponibilità è costruito *nell'apparecchiatura* a livello CAD e viene successivamente verificato in fase di produzione. Arrivare a questi livelli a basso costo richiede capacità e creatività, personale altamente qualificato e rigide politiche di formazione.

Quando si parla di produzione di semiconduttori dovremmo ben sapere che l'area più critica è quella dei test; sono necessari nuovi approcci nel fare i test dell'hardware e questo pone pesantemente il problema della accessibilità a componenti elettronici ad alta densità.

Con la tecnologia LSI (ed a maggior ragione con quella VLSI) si perde la capacità di raggiungere i singoli componenti. La *controllabilità* allora diventa un fattore cruciale. Si può usare il cosiddetto "approccio black-box" per effettuare il test, definendo un protocollo a livello chip sulla base di variabili in *input* e *output* che devono essere sottoposte a studio. Ma questo significa verificare dai 10.000 ai 100.000 elementi allo stesso tempo. Per aver successo dobbiamo avere una metodologia valida: anche gli strumenti più costosi possono essere inutili se non sappiamo cosa fare con i dati e i risultati che ci danno. La Figura 7.1 evidenzia le fasi di un'azione correttiva; senza di ciò la qualità di un prodotto rimane una parola vuota.

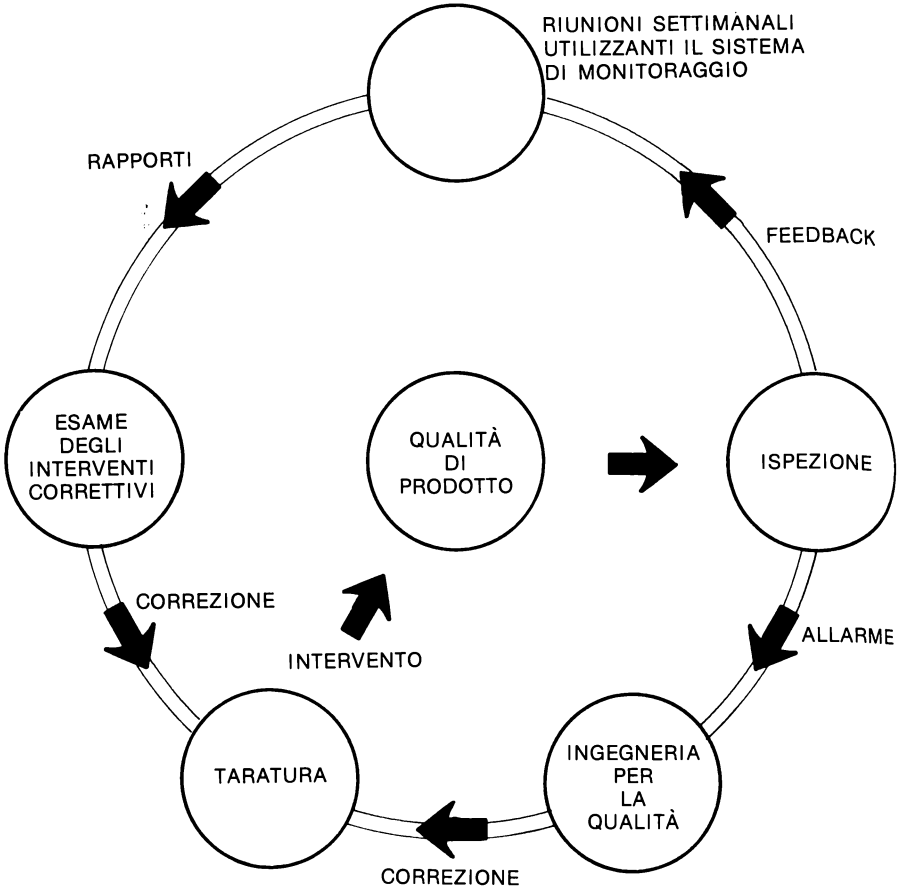


Figura 7.1 — ciclo di quality assurance in un esempio di metodologia necessaria per garantire l'osservanza delle specifiche di prodotto. La qualità che si ottiene non può essere migliore di quella prevista nelle attività di controllo.

Consideriamo ora l'intero ciclo.

Il wafer è sottoposto a un test per determinare i circuiti validi; come abbiamo già detto i circuiti difettosi sono segnati con una macchia d'inchiostro. Le parti valide del wafer sezionato sono così scelte per la costruzione di validi circuiti ed assemblati in package. Dopodichè viene eseguito un test per assicurarsi che i circuiti così impaccati operano correttamente. Una volta che i circuiti sono separati, spezzando il wafer nelle parti previste, ogni chip deve poi essere trattato singolarmente. Da questo punto il costo di tutti i processi quali quelli di impaccamento o di test non sono suddi-

visi tra centinaia o migliaia di circuiti. Infatti, il costo dei test per circuiti integrati spesso supera gli altri costi legati alla produzione ed è per questo che deve essere appropriatamente pianificato fin dal principio.

2 — L'APPROCCIO "BLACK BOX"

L'attività di test con il metodo "black box" non dovrebbe essere confusa con la simulazione essendo anzi i due metodi opposti piuttosto che simili. Con la simulazione descriviamo il lavoro interno del sistema; se consideriamo i tre elementi chiave *i* per input, *s* per struttura e *o* per output la simulazione studia l'output con una funzione dell'input e della struttura. L'analisi "black box", al contrario, valuta la struttura in funzione dell'input e dell'output.

La simulazione (che è un processo analogico) avviene in due fasi logiche: la prima quasi in contrasto con le caratteristiche del sistema considerato, la seconda con cui attraverso approssimazioni si arriva ad emulare le funzioni del sistema. Come tale può essere complementare all'analisi "black box".

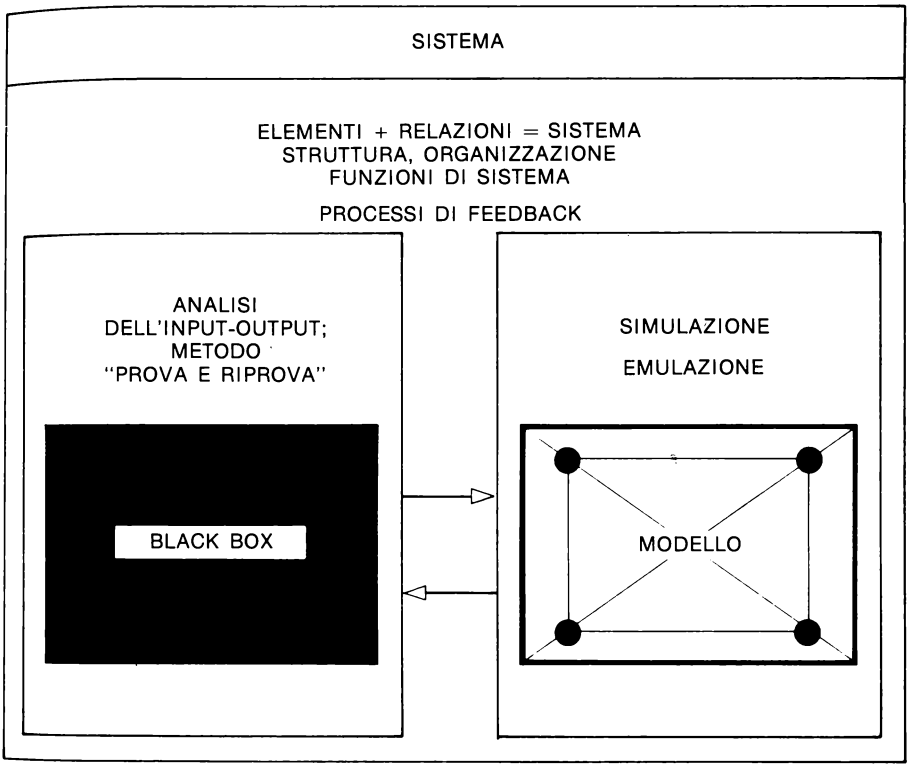


Figura 7.2 — i sistemi sono composti di elementi e di relazioni; hanno una struttura che prevede determinate funzionalità. Questi fattori possono essere provati sia con la simulazione che con l'approccio "black box".

L'approssimazione di un simulatore può essere stimata o verificata con una continua e attenta misurazione del suo output ed il suo confronto con i dati raccolti dai processi reali. L'ipotesi che si deve fare in relazione ad un black box è, prima di tutto, che vi sia una funzione. Ecco allora che ci interessa studiarla; una volta individuata esaminiamo il suo meccanismo osservando i risultati che si ottengono.

Diamo due esempi di un semplicissimo protocollo di I/O; il primo porta alla conclusione che il black box è un *inverter,* il secondo suggerisce una *"time series"*:

Protocollo di I/O

I	O	
0	1	**INVERTER**
1	0	
1	0	
0	1	
:	:	
1	1	TIME
0	0	SERIES
:	:	
1	0	
0	1	

Il problema dei test con la tecnologia VLSI è molto più complesso ma vi sono anche delle somiglianze. L'obiettivo è calcolare la qualità del prodotto assicurata anche se sappiamo di essere lontani dalle condizioni ideali di prova. Si possono seguire metodi combinatori o sequenziali. Si può

- fornire segnali in ingresso nell'ordine di 2^{10} (=1024) in input;
- studiare la risposta-output;
- tentare di individuare il modo di operare attraverso 2^{10} modelli.

Usando un approccio combinatoriale registriamo l'output; lo confrontiamo con i valori attesi; si crea così una base di dati di test sulla quale si realizzeranno degli algoritmi in base ai quali si deciderà la positività o la negatività della prova. È anche vero però che un black box può essere indeterminato.

Un processo sequenziale di test è più complicato poiché i risultati sono determinati dallo stato di un registro. Per esempio, vi siano 100 elementi di memoria per realizzare operazioni aritmetiche e logiche (ALU); abbiamo dunque 2^{100} possibili stati da trattare. Dobbiamo stabilire il modello di test. Tale grafico è una rappresentazione parziale di tutte le possibili combinazioni (Figura 7.3).

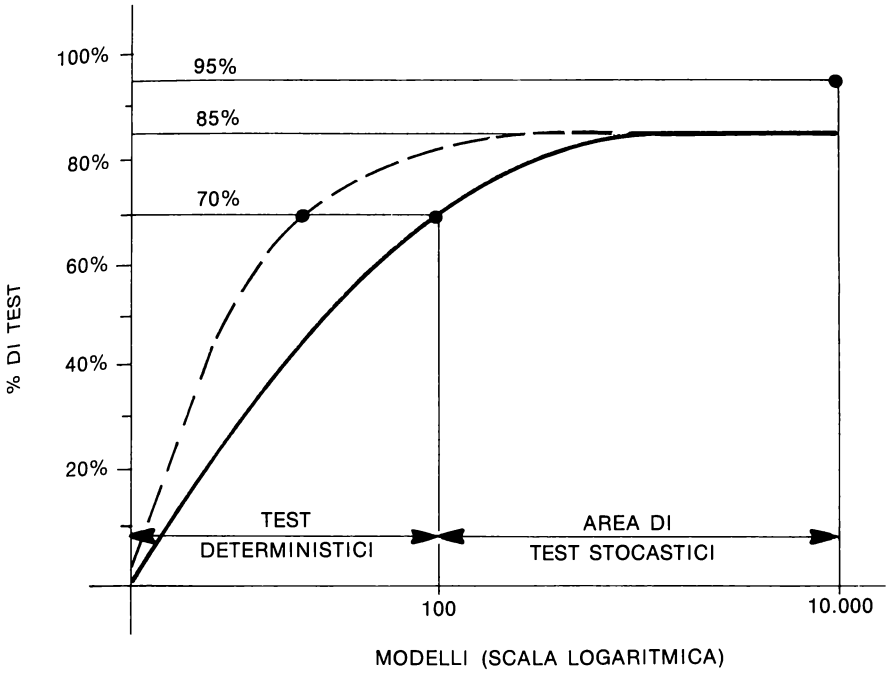


Figura 7.3 — gli schemi di test dovrebbero essere definiti come una rappresentazione, anche parziale, delle soluzioni possibili.

Un'altra possibilità per effettuare il test sui dati è di considerare le statistiche dei guasti relative alle ALU di macchine precedenti, che corrispondono alle ALU in progettazione e usare questi dati come statistiche approssimative di guasti per le apparecchiature in studio. Dobbiamo tuttavia considerare che la tecnologia e la progettazione strutturale hanno differenti conseguenze sui risultati.

Per riassumere, il metodo basato sul "black box" è un approccio euristico, che si attua generando una sequenza di test. Data la complessità del processo

- la gestione di un gran numero di "vettori-test" può essere fatta solo con il computer, non certo a mano, e questo
- richiede una strategia con cui realizzare i test.

Il test di un sistema (o sottosistema o apparecchiatura o componente) richiede dapprima una precisa definizione del sistema; dopodiché si devono formulare le ipotesi, scegliere delle parti tipiche, amministrare l'esperimento, osservare e registrare

i risultati quantitativi, sottometterli alla procedura di test e decidere sulla base dei risultati se la qualità riscontrata è quella voluta.

La risposta che si ottiene dai test è duplice:

1) la progettazione risponde agli obiettivi funzionali?
   Questa è una famiglia di test che rientra nella verifica della progettazione.

2) I componenti rientrano nelle specifiche? Lo scopo è rilevare i guasti e gli errori.

L'oggetto di tutto è garantire la qualità con un significativo ruolo giocato dalla diagnostica. L'euristica entra in campo in quanto costituisce un approccio alla scoperta della soluzione di un problema.

3 — MISURAZIONE DELLA QUALITÀ

Nel periodo precedente la tecnologia LSI, la prova dei pezzi, l'assemblaggio e il subassemblaggio, le macchine e i sistemi si basavano su teorie consolidate.

— La produzione era in sostanza un'operazione di assemblaggio,

— le parti più piccole erano quelle trattate con la maggior attenzione,

— il punto cruciale era l'assemblaggio e tutti i parametri relativi erano sottoposti a test,

— le misurazioni erano fatte in modo AOQL (outgoing quality level).

Le procedure di qualità sono però cambiate con le tecnologie LSI e VLSI: la parte più piccola è il chip; molto spesso i circuiti non sono stati sottoposti a test quando il chip viene costruito, molti parametri non possono essere misurati, la qualità diventa una funzione nell'integrazione dei processi e le nuove misure da utilizzare devono prevedere la possibilità d'estrapolare i dati relativi alla qualità.

Tutto ciò ha portato allo standard cosiddetto QM (quality measure). In questo caso effettuare test significa operare in ambienti che provocano il rivelarsi di difetti fisici e di funzionamento.

L'impatto della simulazione nelle fasi di test è illustrato nella Figura 7.4. Vi sono due linee fondamentali che vengono seguite: una per il software e l'altra per l'hardware e la prima è molto più complessa della seconda, tenuto conto anche che è sulla prima che abbiamo minore esperienza. Per entrambe l'obiettivo è di affrontare i problemi che potrebbero presentarsi in futuro.

L'illustrazione si riferisce alle operazioni di test di sistema, ma la metodologia che ne è implicata è valida a tutti i livelli: sottosistemi, parti assemblate, componenti, semplice apparecchiatura. Il CAD è uno dei mezzi che possono essere usati con successo per le sperimentazioni proposte: è con la simulazione di funzioni comples-

se che il reparto di progettazione avanzata di sistemi dell'IBM (EDS - Engineering Design System) ha accelerato lo sviluppo di più di cento prodotti. L'EDS opera con il supporto di 30 grandi computer.

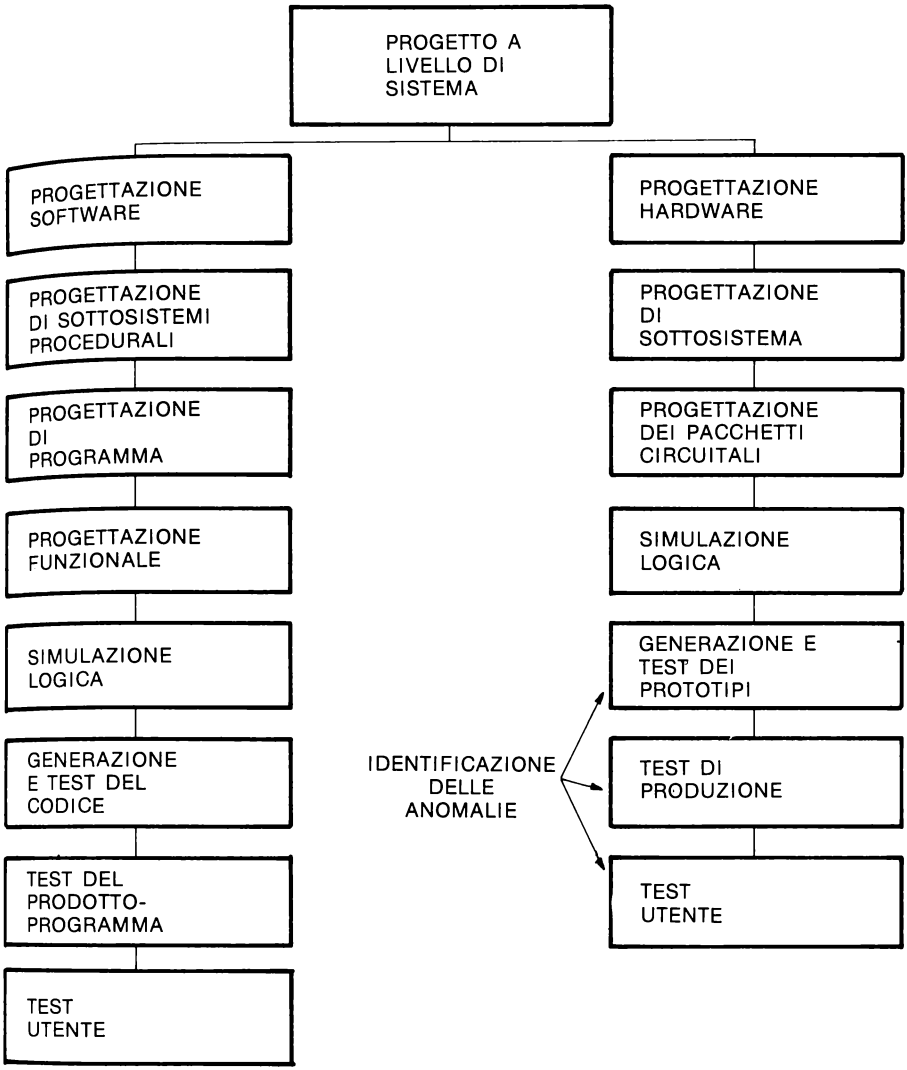


Figura 7.4 — procedura di simulazione a livello di sistema con le varie fasi sia per l'hardware che per il software. L'obiettivo è di identificare possibili problemi prima che si possano manifestare come anomalie.

La Figura 7.5 illustra un altro strumento: il microscopio elettronico che sta effettuando lo "scan" di nuovi circuiti. Questo è uno dei vari controlli di qualità messi in atto prima della produzione effettiva per assicurare l'efficienza e l'affidabilità dei prodotti. In genere le operazioni di test di complesse funzioni logiche e di circuiti di memoria per i futuri computer saranno accelerate da apparecchiature appositamente progettate che permettono una rapida analisi del circuito da parte di computer. Questi esempi vengono dal rapporto che la IBM invia agli azionisti.

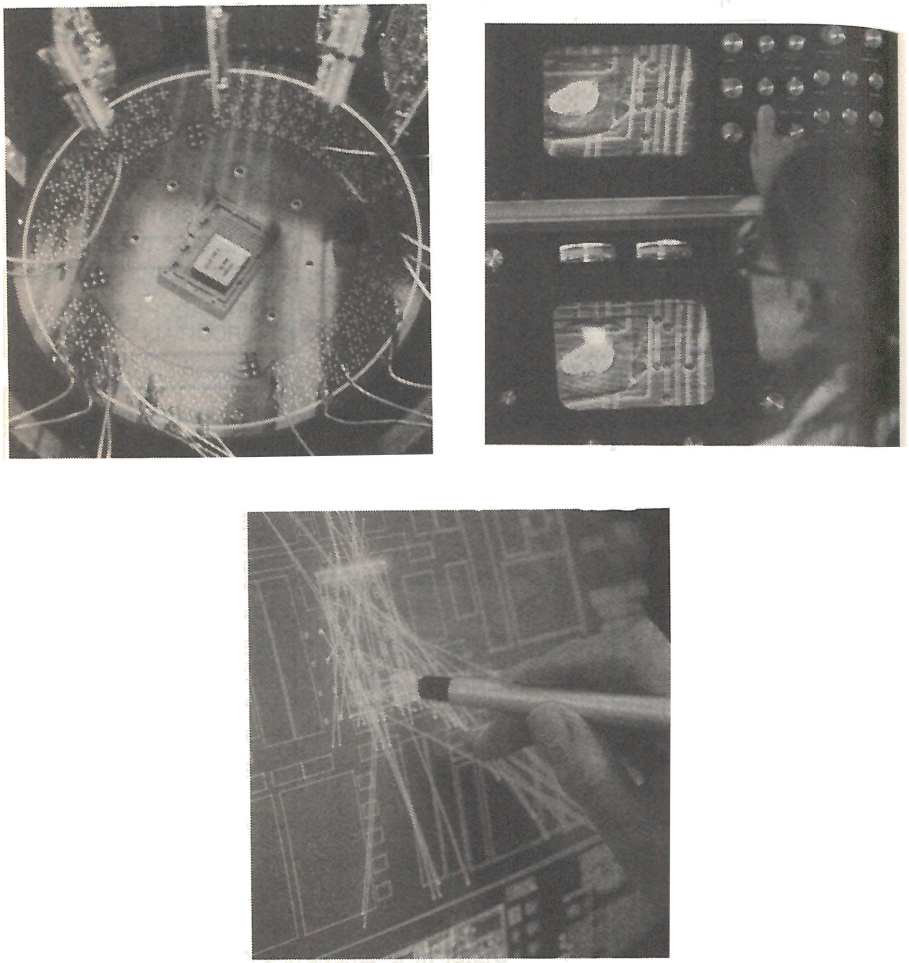


Figura 7.5 — tre esempi di test di prodotto: (a) simulazione di complesse funzioni circuitali; (b) *scanning* al microscopio elettronico; (c) attività di sperimentazione con speciali apparecchiature.

All'inizio di questo capitolo abbiamo parlato delle operazioni di test secondo l'approccio "black box" consistenti nella generazione di segnali in ingresso e di meccanismi di risposta. La velocità è un punto cruciale: se abbiamo una macchina per fare i test operante con un tempo di 10 nanosecondi, per fare un test completo al 100% su una matrice di 10x10 ci serviranno 2^{100} nanosecondi: il che significa 400 miliardi di anni.

Questo illustra drammaticamente il fatto che con la tecnologia VLSI non possiamo esaurire il numero di combinazioni. Dunque la metodologia dovrà:

1. usare metodi di campionatura,
2. effettuare test sui gate,
3. associare un protocollo di I/O,
4. identificare i malfunzionamenti.

Dunque una copertura all'85% significa che la procedura di test rivela guasti nell'85% dei malfunzionamenti verificati. La procedura deve assicurare modalità per rivelare i guasti, generare un modello dei guasti ed i relativi esperimenti, tenere il conto delle irregolarità e spiegarle, il che consiste nell'assegnare valori corrispondenti a determinate condizioni.

Un'apparecchiatura per l'effettuazione dei test che sia basata sul computer può verificare rapidamente ogni circuito, imprimere una macchia di inchiostro se ha rivelato difetti e passare così al successivo senza alcun intervento umano. Tali apparecchiature possono anche mantenere accurate statistiche sul numero di circuiti validi per wafer, la loro posizione e la loro incidenza relativa sui vari tipi di inconvenienti possibili. Tali informazioni sono fondamentali per trovare nuove strade dirette ad aumentare la produzione di circuiti validi.

I costi per garantire la qualità devono essere determinati in modo accurato e preciso. La Figura 7.6 mostra una metodologia per determinare il costo della qualità, generalmente applicabile nel mondo industriale, nel quale la produzione di circuiti integrati costituisce un caso speciale. La metodologia con cui si effettuano i test dev'essere coerente con le tendenze della tecnologia, senza però sconvolgere gli effetti sui costi. Deve rispondere ai prerequisiti di efficienza del sistema, garantendo:

- un aumento di complessità,
- algoritmi più efficienti,
- maggior accuratezza,

e garantire comunque l'accuratezza dei test, grazie alla velocità delle operazioni, alla reale copertura degli inconvenienti possibili ed alla realzione tra questi test e la qualità effettiva.

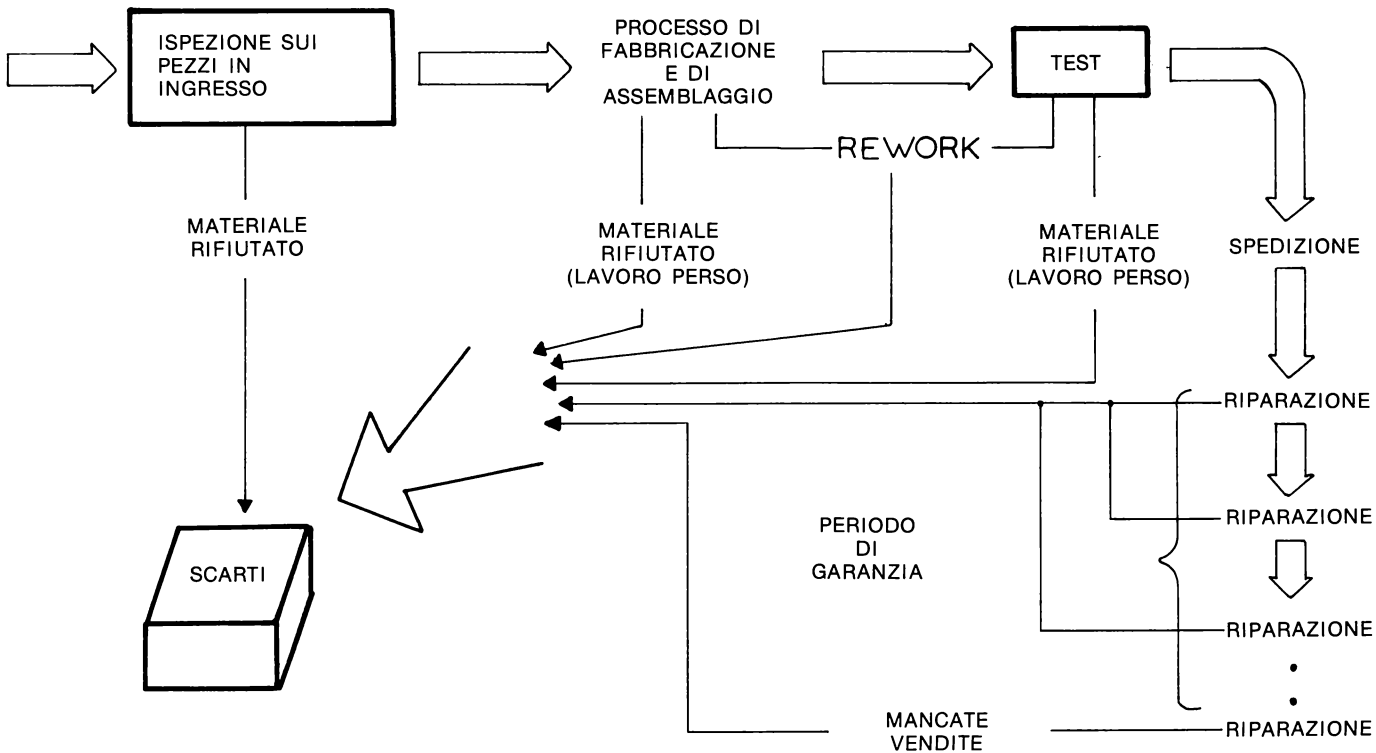


Figura 7.6 — un tipo di metodologia per identificare il costo della qualità *generalmente applicata nell'industria.* È consigliabile quantificare i *risultati passo a passo.*

Le teorie in quest'area sono ancora carenti anche se vi sono delle caratteristiche curve operative che aiutano a controllare il cosiddetto rischio del produttore e del consumatore. È comunque scontato che i componenti e i sistemi devono essere progettati in funzione della possibilità di verificarli con le relative e inderogabili considerazioni in merito ai costi.

La concorrenza internazionale si è ora concentrata sulla qualità dei prodotti ed in questo i Giapponesi sembrano essere i migliori. "La percentuale di guasti in chip costruiti in Giappone è così bassa che noi dobbiamo sottoporli pesantemente ai test" ha detto John A. Roth responsabile di produzione della Northern Telecom. Egli ha osservato che altre società produttrici misurano l'affidabilità dei semiconduttori considerando il numero probabile di inconvenienti sulla base di milioni di ore. In Giappone invece l'unità di misura preferita riguarda gli inconvenienti registrati sulla base di un miliardo di ore.

Un recente studio sulla percentuale di anomalie verificatesi su chip acquistati da una fabbrica della Northern Telecom dai Giapponesi nel periodo tra il maggio '79 e il febbraio '80 ha indicato un livello di 0,008%. I chip realizzati da tre dei maggiori produttori americani rivelarono malfunzionamenti con percentuali del 2,1; 4,3; e 10,3%: i chip americani rivelarono quindi anomalie dalle 260 alle 1200 volte più spesso di quelli giapponesi.

I test successivi su quei chip che non avevano passato la prima fase di test si dimostrarono altrettanto significativi. Solo 2,2 per ogni milione di chip giapponesi erano difettosi; in netto contrasto, furono da 171 a 306 per ogni milione i chip americani che si rivelarono difettosi. La percentuale di guasti per i chip giapponesi in questo caso era inferiore di 1000 volte a quella degli americani.

4 – IL "RISCHIO DEL CONSUMATORE"

I difetti qualitativi che sono passati attraverso il filtro del reparto di produzione si manifesteranno nelle applicazioni successive. Quanto più avanti nella linea produttiva si manifesteranno tanto più costose saranno le operazioni di recupero e vi sono moltissimi esempi a sostegno di ciò.

Un caso del genere avvenne tra la fine del 1980 e gli inizi del 1981. Ne fu coinvolto un costruttore di mainframe che chiameremo "X" ed uno dei suoi fornitori di semiconduttori che chiameremo "Y". La storia dei problemi dei chip di "Y" può essere brevemente descritta come segue:

- al momento dell'approvvigionamento il reparto di ingegneria per la progettazione di circuiti destinati ai grandi sistemi valutò i componenti. Pressochè tutti quelli sottoposti a test si rivelarono validi.
- Quando si manifestarono i malfunzionamenti 240 apparecchiature furono bloccate da malfunzionamenti per 65 ore e 13 si guastarono completamente. Solo allora la società "X" revocò i propri ordini a "Y".

- I chip guastati furono inviati a "Y" per analisi, la quale indicò la causa in una contaminazione ionica.
- La risposta di "Y" ad "X" indicò che quelle parti sarebbero "guarite" da sè dopo 1600-2000 ore operative nell'ambiente "mainframe" (la contaminazione ionica si sarebbe spostata nei livelli vetrosi passivi e lì intrappolata).
- Il reparto di ingegneria di "X" decise di ripulire da questi componenti tutte le parti di ricambio destinate ai clienti.
- I malfunzionamenti presso i clienti tra il dicembre e il gennaio 1980-1981 continuarono con un'elevata frequenza. Qualche sistema fu bloccato per più di 1600 ore nel periodo di regolare operatività.
- Per migliorare la qualità dei prodotti in uscita la società dovette "ripulire" un milione di parti su 44 milioni.
- Dal momento però che i malfunzionamenti presso i clienti continuavano il reparto d'ingegneria di "X" decise di eliminare tutte le unità operative con quei chip nella propria linea di prodotto.

Aggiungiamo che la progettazione di quel particolare mainframe prevede l'utilizzo di 405 parti per ogni sistema che sono distribuite su 32 piastre. 25 di queste sono quelle che possono usare i componenti di "Y" unitamente a quelli di altri 2 produttori di semiconduttori. Di queste piastre alcune avevano 40 posti, altre solamente 2 (7 piastre poi non avevano nessun chip del fornitore "Y").

Dunque la sostituzione di una media di 12 piastre per mainframe significò circa la metà di quelle contenenti i chip "Y" e quindi il 35% di quelle di tutta la macchina (nelle statistiche attuali riferentesi alle installazioni negli USA si osserva una percentuale che va dal 9 al 14). Il piano fatto dagli specialisti del costruttore del mainframe "X" riguardante le installazioni in tutto il mondo portarono alla conclusione che ci sarebbe voluto un bel po' di tempo per rimpiazzare e riciclare le schede contenenti componenti "Y".

La tattica adottata fu di usare insiemi extra di schede come mezzo per effettuare il cambiamento. Tecnicamente la soluzione era accettabile; finanziaramente si rivelò un affare disastroso: i costruttori di mainframe e i fornitori di semiconduttori dovrebbero imparare dalla cosiddetta e già ricordata legge di Murphy "Se si lascia la possibilità ad un errore di accadere, questo accadrà".

In ogni tipo di produzione esiste sia il cosiddetto rischio del consumatore, sia del produttore, conosciuti rispettivamente come errori di tipo 1 o alfa ed errori di tipo 2 o beta (Figura 7.7). Durante la guerra, alla Columbia University furono sviluppate le cosiddette *Operating characteristic (OC) curves*, in un progetto di ricerca condotto dal prof. Uri; tale progetto faceva a sua volta parte del progetto Manhattan. Esse sono rimaste in uso da allora.

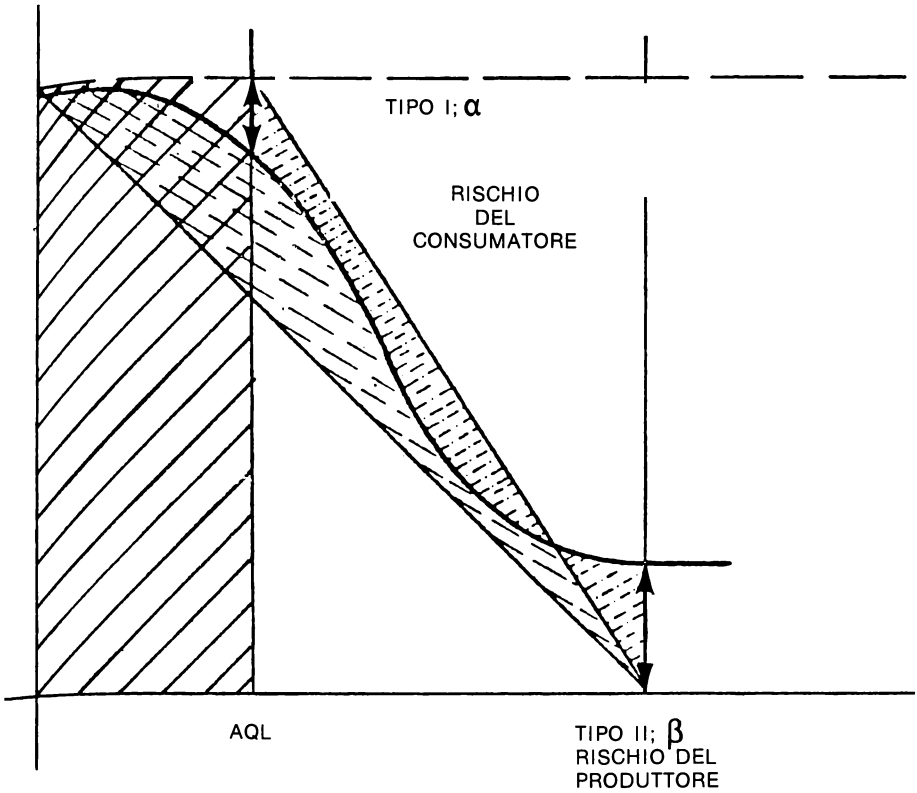


Figura 7.7 — curve operative caratteristiche: il rischio del produttore e il rischio del consumatore.

Per evitare di cadere nella trappola di questo tipico caso "X, Y" di cui abbiamo parlato sarà opportuno fare sempre due cose. Primo: dovrebbe esservi una dura procedura di verifica della qualità da parte del compratore; questa dovrebbe essere realizzata basandosi sul computer ed usando tutti gli approcci basati su algoritmi disponibili, come le curve OC, il t-test, lo X^2 test unitamente a strumenti per la rilevazione dell'affidabilità. Secondo, dovrà essere realizzato con i migliori avvocati un solido contratto che non lasci alcuna scappatoia ai fornitori ed in particolare preveda clausole di penalità.

Per quanto riguarda l'utente finale la preoccupazione di conseguenze dovute ai guasti nei semiconduttori è sempre presente. Gli esperti progettatori del mainframe e tecnici dell'affidabilità possono ben assicurare l'utente dicendo: "Non ci si attende nessun danno per il sistema a seguito di questo problema. Una volta risolti i problemi, il sistema sarà uno dei più affidabili presenti sul mercato...". Ma come può l'u-

tente esserne certo se non ha preso la precauzione di includere clausole riguardanti l'affidabilità nel proprio contratto?

La Tavola 7.1 illustra i dati di performance del periodo da luglio a dicembre 1980 per il modello di computer in oggetto. I dati riguardano la sola CPU e considerano le ore operative totali e l'"MTBUI" (Mean Time Between Unit Interruption), una nuova misura che riguarda le "Unit Interruption" invece che i "System Interruption". Si noti che il numero di problemi riferiti alla CPU include sia i problemi causati dai malfunzionamenti "y" sia quelli presentatisi per altre ragioni. Vi fu un evidente miglioramento in novembre dopo un'azione correttiva sulle condizioni di malfunzionamento "y", seguito però da un relativo peggioramento in dicembre.

Negli Stati Uniti la società "x" seguì molto attentamente il parco installato. Per ogni unità venne effettuato un controllo in base al quale:

- furono rilevati e riportati i difetti;
- passo a passo i risultati furono portati all'attenzione del reparto originario per analizzare i guasti.

Tavola 7.1: MTBUI (da luglio a dicembre 1980) relativa alla performance della CPU

Mese:	Luglio, agosto, settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ore operative di CPU	7,566	6,402	6,381	3,418
MTBUI	378	377	798	570

Il numero di installazioni riportanti problemi di CPU e rilevati all'interno di tale attività di controllo è indicato nella Tavola 7.2. La Tavola 7.3 mette a confronto l'MTBUI di macchine con e senza chip "y". In questo secondo caso l'MTBUI riferito alle CPU è 4 volte migliore.

Tavola 7.2: Rapporto sui problemi di CPU

Terzo trimestre 1980	5 dei 13 totali (38,5%)
Quarto trimestre 1980	11 dei 17 totali (64,7%)

dall'analisi dei dati sulle cadute di CPU e le interruzioni (totale = 34):

- 26 riguardavano i componenti forniti da un produttore;
- 8 riguardavano i componenti forniti da vari altri fornitori.

Tavola 7.3: Analisi dei dati sulle interruzioni di CPU; consuntivo sulla performance (17.221 ore)

Condizione	**MTBUI**
Corrente	506 ore
Meno di 663	2.153 ore

5 – SOTTOPORRE A TEST I VLSI ED IL SOFTWARE

Siamo stati abituati negli ultimi 10 anni ad una tendenza verso il continuo ribasso dei prezzi dei semiconduttori per bit di memoria e per circuiti di commutazione. Come conseguenza spesso non ci rendiamo conto del fatto che il costo totale è composto da 2 fattori chiave: i costi di produzione e di test e mano a mano che le funzioni per chip divengono più complesse tanto più aumenta il secondo tipo di costo.

Vi sono due prodotti, estremamente correlati ai computer ed alle comunicazioni, per i quali questa affermazione è particolarmente valida: i prodotti VLSI ed il software. Per entrambe le nostre procedure di test sono ancora piuttosto rudimentali, bisognose come sono di miglioramenti sia qualitativi che quantitativi.

Esistono delle somiglianze tra i prodotti VLSI ed il software. Prima di tutto la complessità aumenta in modo non lineare all'aumentare del numero dei componenti. In secondo luogo per garantire tutti i possibili cammini logici e fisici, si dovrebbe sottoporli tutti a test, il che è virtualmente impossibile. Come terzo punto bisogna considerare che sia con i prodotti VLSI che con il software più del 50% del costo è assorbito dall'attività di correzione: i costi per l'attività di test seguono a ruota quelli di produzione e di progettazione. Il rapporto è così oggi arrivato ad essere 1 a 1 ed il costo per l'attività di test tende oggi a superare gli altri.

Questo è uno dei motivi per cui con le tecnologie LSI e VLSI, mentre i prezzi unitari diminuiscono fortemente, il costo di una scheda aumenta con l'aumentare delle funzioni previste. La difficoltà nell'effettuare misurazioni di qualità è particolarmente preoccupante dal momento che quando non si riesce a individuare un guasto tutta l'intera piastra deve essere sostituita. Allo stesso tempo i costi del software sono aumentati ad un punto tale da superare notevolmente quelli dell'hardware.

L'attuale ricerca in merito ai problemi della qualità nella tecnologia dei semiconduttori mostra che:

- la verifica del progetto e la simulazione di guasti per l'hardware induce una crescita nello sviluppo del software e nella attività di test;
- vi sono buone possibilità di verificare l'impatto dei guasti sui programmi di manutenzione.

Come è stato discusso un po' in tutto questo capitolo l'uso della simulazione per l'individuazione dei guasti richiede:

- la disponibilità di test di rilevazione (soprattutto a fini conoscitivi);
- l'identificazione dei sintomi di differenti tipi di guasto;
- il trasferimento dell'attività di test e verifica ad apparecchiature di tipo ATE (Automatic Test Equipment).

Tutto ciò richiede una valida metodologia capace di aiutarci nel:

— calcolare come riconoscere i guasti e

— trovare la corrispondenza più attendibile tra il comportamento difettoso ed i possibili guasti identificati.

Il riconoscimento di un guasto significa avere un modello che rispecchia il circuito malfunzionante; tuttavia il suo uso a scopi previsionali deve garantire una corrispondenza 1 a 1 con il comportamento difettoso identificato. Il riconoscimento di un guasto dovrebbe rispecchiare il suo effetto sul comportamento di un circuito valido.

Questa tecnica è stata usata intensivamente con la tecnologia SSI (small scale integration); con le tecnologie LSI e VLSI abbiamo bisogno dei miglioramenti. Un esempio è costituito dalla cosiddetta "indagine guidata": essa è realizzata confrontando il comportamento scorretto con quello corretto, garantendo di non estendere all'intero insieme di componenti le conseguenze a causa di reazioni indotte estese a tutto l'insieme.

La simulazione dei guasti è un metodo alternativo che viene sviluppato in una nuova grande area di attività; essa comporta:

1. *la simulazione parallela* (per esempio si effettua il test su una parola di computer come un tutto);

2. *la simulazione deduttiva* (che è associata alla lista di guasti considerati). In questo caso questa lista di guasti opera come un'entità anche se nel caso di peggior complessità essa è, in realtà, una funzione esponenziale;

3. *la simulazione concorrente* che si basa sul fatto che durante la simulazione circuitale è attivo simultaneamente solo un piccolo numero di inconvenienti.

L'idea è di barattare spazio per velocità ed ottenere anche una certa compressione dei dati. Le conseguenze riguardano maggiore necessità di memoria, il fatto che i guasti inattivi non vengono simulati (anche se il livello di simulazione può essere aumentato); inoltre la tempificazione del rivelarsi dei guasti può essere facilmente ed economicamente simulata.

Il metodo deduttivo è più veloce del parallelo per grandi circuiti; il metodo basato sulla simulazione concorrente è più veloce del deduttivo ma richiede una gerarchia di simulazione.

CAPITOLO 8

LE PREMESSE INGEGNERISTICHE

1 – INTRODUZIONE

Nel capitolo 6 ci siamo riferiti al grande aiuto che il CAD può dare nella progettazione dei componenti discreti a partire dal wafer. Mentre un'integrazione di tipo VLSI richiederà sempre in aiuto il CAD, in nessun modo esso potrà limitarsi alla progettazione di wafer: infatti un'attività egualmente rilevante è quella riferentesi allo studio degli schemi circuitali delle piastre.

La dizione "piastra a circuiti stampati" (PCB - printed circuit board) viene dal fatto che i circuiti contenuti non sono connessi tra loro da fili ma da linee di rame o da collegamenti fotostampati sulla piastra. Parallelamente alla tendenza ad aumentare sempre di più la densità dei circuiti vi è quella tendente a piastre più capaci, con un minor numero di livelli, con maggior accuratezza e maggior risoluzione.

Lo sviluppo della tecnologia riguardante le piastre è parallelo all'ampliamento dell'uso di circuiti integrati che, in pochi anni, sono passati da alti costi e da una progettazione piuttosto semplice utilizzata per sistemi aereospaziali e militari a costi molto più bassi e a circuiti più complicati che hanno trovato un mercato eccellente sia nei giochi e nei personal computer che nei grossi sistemi di ogni tipo. La progettazione di piastre a circuiti stampati richiede molto lavoro ripetitivo, quale:

- collocazione dei componenti e individuazione del cammino di collegamento;
- la riproduzione dello stesso componente in più posti;
- l'aggiunta di annotazioni e del dimensionamento;
- le attività di controllo del progetto ed altre generiche;
- la produzione della distinta-base;
- l'aggiornamento del data base di progetto;
- una valida e completa documentazione.

Gli aggiornamenti fatti nei prodotti d'ingegneria possono essere tecnologici e/o strutturali. Mentre la ricerca nelle scienze fisiche permette di fare grandi passi avanti è anche vero che la sovrapposizione di un avanzamento strutturale e tecnologico può aiutare molto di più degli stessi risultati che si ottengono (Figura 8.1). Però non tutti i cambiamenti strutturali sono produttivi: alcuni possono portare a soluzioni erronee e non ottimali che, al livello di complessità di cui parliamo, possono essere rivelati solo attraverso attività sperimentali.

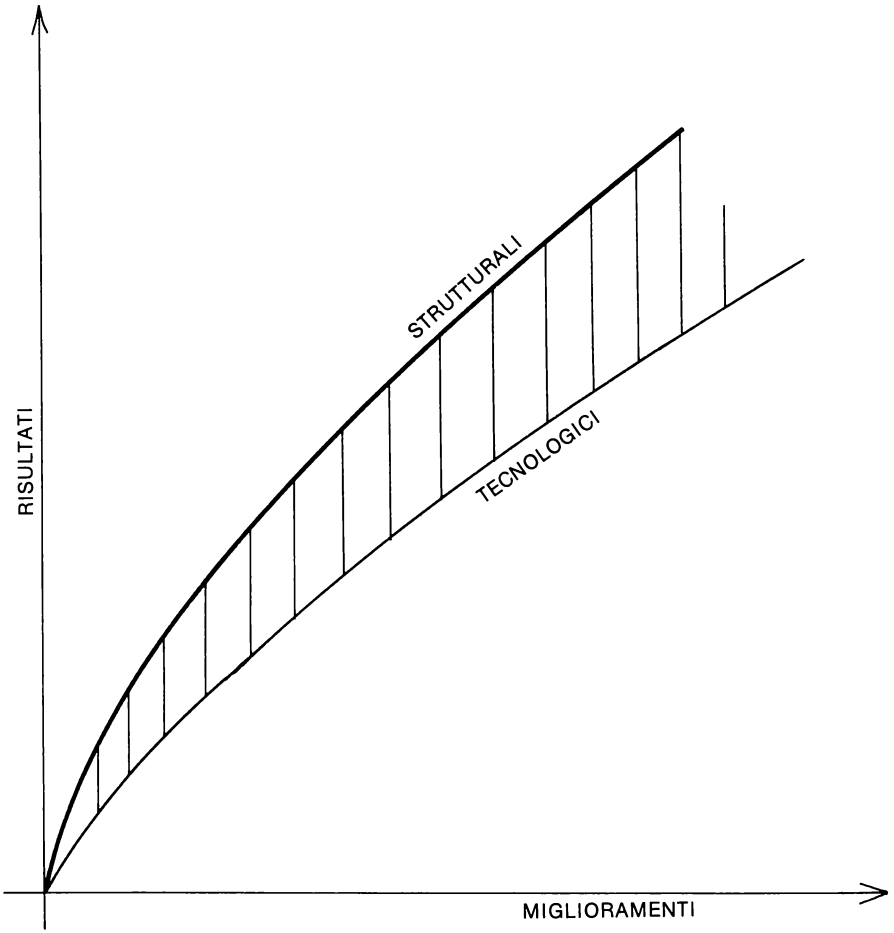


Figura 8.1 — i miglioramenti fatti nei prodotti più avanzati, tesi al raggiungimento di migliori risultati, possono essere di natura sia tecnologica che strutturale.

Gli errori possono causare pesanti interferenze nella stessa fase di progettazione e la loro correzione diviene una delle attività più pesanti; inoltre bisogna tener conto che più si lasciano andare avanti gli errori più costa correggerli. Questi sono i motivi per cui l'uso del CAD è divenuto una necessità sia economica che tecnica.

I terminali interattivi permettono di sperimentare e di provare nuove idee, la visualizzazione immediata degli schemi, la generazione dei disegni finali, il tutto come parte di una valida soluzione. In questo senso il CAD aiuta a risolvere alcuni dei tipici colli di bottiglia nelle fasi in cui *si progetta per produrre,* automatizzando i passi che richiedevano più tempo e che erano esposti maggiormente agli errori, riducendo comunque il tempo, aumentando la qualità ed avendo, in tal modo, significative conseguenze sui costi.

2 – LA PIASTRA A CIRCUITI STAMPATI

Dal punto di vista delle dimensioni fisiche le piastre a circuiti stampati variano in genere da 3 per 3 centimetri a circa 38 per 50 centimetri; sono però solitamente preferite dimensioni varianti tra i 13 per 18 centimetri e 25 per 30. Tali piastre possono contenere uno o due chip ogni 5-6 $cm.^2$, sia su una o entrambe le facce. Solitamente le piastre a 2 facce presentano chip montati da una sola parte mentre approcci multilivello sono usati ampiamente con i sistemi di computer e comunicazioni nei quali i circuiti sono più complessi.

Uno dei maggiori problemi nella progettazione di piastre a circuiti stampati (PCB - printed circuit board), una volta che lo schema e la geometria della piastra sono stati decisi, sta nel collocare i componenti in modo da minimizzare la lunghezza totale dei collegamenti. Il progettatore deve tener conto di una gran varietà di gate e di possibili alternative nell'impaccare componenti discreti, senza dimenticare altrettanto numerosi vincoli fisici. La ricerca di compatibilità, le caratteristiche fisiche e logiche e la probabilità di aver errori richiedono varie iterazioni, le quali occupano molto tempo qualora vengano fatte manualmente.

La collocazione dei circuiti integrati su una piastra deve garantire la possibilità di buone trasmissioni dei segnali semplificando le relative interconnessioni per mantenere la continuità dei segnali stessi.

L'ottimizzazione può essere raggiunta definendo la collocazione di tutti i circuiti integrati componenti, il collegamento tra di loro, la sistemazione dei piedini di input-output, i punti per effettuare i test. Il lavoro manuale è spesso ripetitivo e il progettatore può ben arrivare a 1/3 del lavoro, fino alla fase di interconnessione, prima di accorgersi che le connessioni devono essere cambiate per ottimizzare tutti i collegamenti. La Figura 8.2 mostra un'attività di riconoscimento automatico dello schema per una piastra a circuito stampato. Queste immagini, ottenute su una macchina sperimentale, mostrano esempi di (a) un'immagine originale rilevata da un'unità apposita; (b) la simbolistica e le direzioni connettive estratte dalla fase dedicata al riconoscimento dei simboli; (c) la rete di linee ricavate dalla rappresentazione dell'immagine; (d) il risultato finale ottenuto combinando b e c. Ringraziamo la Fujitsu per quest'immagine.

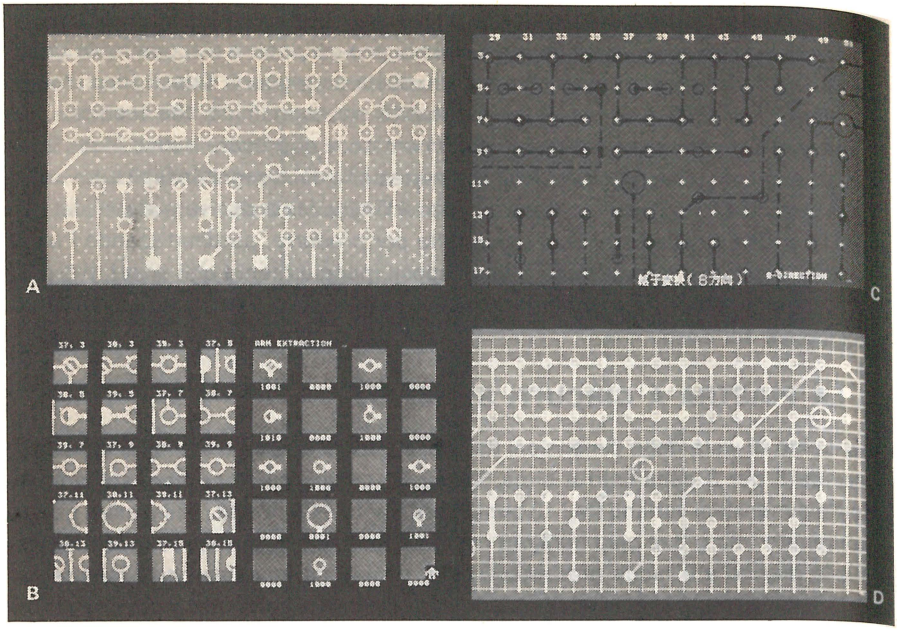


Figura 8.2 — riconoscimento automatico degli schemi di progetto per le piastre e circuiti stampati (PCB): (a) sull'immagine originale; (b) simboli e direzione delle connessioni; (c) rete di linee di collegamento; (d) risultato finale.

Le possibilità messe a disposizione dal CAD sono in realtà strumenti fondamentali per evitare lavoro ripetitivo nel progettare piastre a circuito stampato e per fornire al progettatore validi strumenti di test e verifica. Vengono effettuati confronti automatici tra la lista di collegamenti previsti e lo schema dei componenti per verificare così la validità delle interconnessioni. Gli errori sono rilevati e segnalati grazie ad un supporto software e possono essere corretti interattivamente.

Dopo la correzione viene automaticamente generata tutta la rete di segnali che, posta nello schema, dà il via ad un processo che assicura una documentazione consistente e ad un progetto finale senza ridondanze.

Una volta che i presupposti elettrici sono stati soddisfatti, la qualità fisica e meccanica dei collegamenti può essere verificata grazie ad un processo separato di verifica: controllando le regole seguite per il disegno geometrico, confrontando le caratteristiche fisiche della piastra con i vincoli previsti e segnalando errori che possono così essere corretti interattivamente. Lavorando con il CAD il progettatore è aiutato ad estrarre automaticamente dal data base le informazioni di tipo non grafico, producendo una varietà di documenti che riportano, in forma testuale, la lista dei collegamenti punto a punto fino alla distinta materiali.

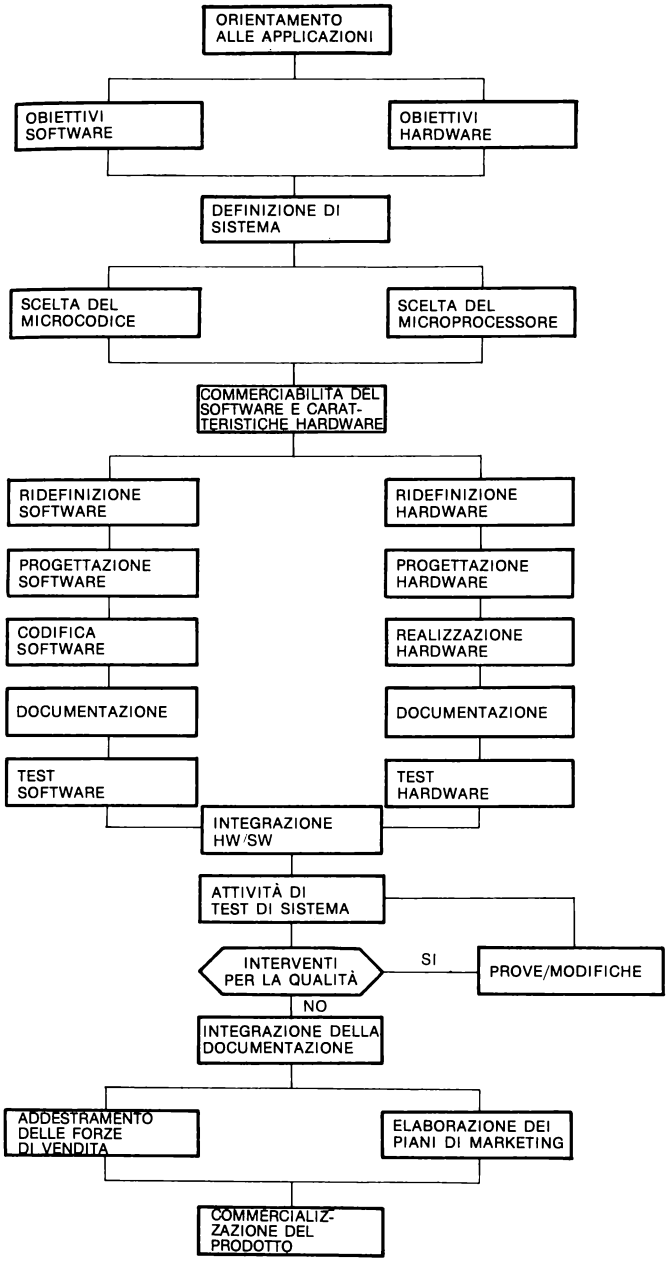


Figura 8.3 — diagramma di flusso procedurale: dalle applicazioni orientate alla definizione di sistema; integrazione hardware/software; test di sistema, documentazione e commercializzazione del prodotto.

Il fatto che l'aiuto del computer aumenterà decisamente la qualità del lavoro non significa assolutamente che sarà sostituita, o messa in secondo piano, la necessità di definire obiettivi chiari.

Il primo compito dei progettisti è definire gli aspetti hardware e software dell'applicazione e solo dopo procedere alla definizione del sistema.

I microprocessori dovrebbero essere la risposta al problema di approcci innovativi alla progettazione di apparecchiature; vi sono premesse ingegneristiche che richiedono risposte ad un numero di domande critiche, e queste dovrebbero essere date già nella fase orientativa iniziale, prima del disegno della PCB:

- quali funzioni sono previste per la PCB?
- la progettata soluzione basata sul microprocessore è effettivamente conveniente per le suddette funzioni?
- l'efficienza e le capacità attese sono sufficienti per gli obiettivi preposti?
- la piastra e gli elementi che essa contiene possono sopportare determinate condizioni ambientali tipiche per l'utilizzo previsto?

Uno dei fondamentali criteri di progettazione è legato alla possibilità di scegliere tra gli elementi commercialmente disponibili nel mercato, allo scopo di evitare richieste speciali. Uno dei maggiori problemi che si hanno con i microprocessori ed i circuiti integrati in genere sta nell'enorme proliferazione di circuiti disegnati appositamente per un utente; e questo ha dirette conseguenze sulle stesse PCB.

L'attenzione verso soluzioni basate su chip specificatamente progettati per un utente ha le sue origini storiche. Nel 1971 operando con i computer nacque l'idea del chip programmabile; seguì un'intera generazione di soluzioni programmabili che all'inizio si basavano solamente su un ristretto numero di microprocessori.

La necessità di migliorare e di raggiungere migliori prestazioni portò a dei cambiamenti. Dal 1974 ci fu una proliferazione di circuiti LSI: un esperto ne contò 140 differenti tipi nel 1977. Dopodichè ci si rese conto che la specializzazione porta alla proliferazione; e non vi è ancora un accordo su ciò che dovrebbe essere una linea standard; e, ovviamente, come ogni progettatore può confermare, un chip non può risolvere i problemi di tutte le applicazioni.

La disputa riguardante i circuiti VLSI realizzati per l'utente specifico e i microprocessori standard è sostanzialmente una questione economica e di flessibilità. Una progettazione razionale richiede una struttura funzionale e spesso la sofisticazione complica le cose piuttosto che semplificarle. In ogni caso, e per una parte significativa, i costi dei circuiti non sono dominati dal costo dei circuiti integrati ma da altri costi, quali l'alimentazione, il raffreddamento e la stessa PCB; ben poco si può fare per ridurre i costi senza che si utilizzino nuove tecniche.

3 – HIGH E LOW END

Per avere una base concreta e documentata per scegliere dobbiamo conoscere esattamente di che cosa abbiamo bisogno per il sistema in esame; il passo successivo sta nel considerare attentamente ciò che è disponibile nel mercato dai chip a 4 e 32 bit. Tali scelte sono sempre dei tentativi: gli specialisti dei semiconduttori sono concordi nel ritenere che non vi è fine nello sforzo di migliorare la tecnologia dei computer al livello dei componenti. Vi può essere tuttavia un certo lasso di tempo tra la disponibilità di una tecnologia ed il suo utilizzo in un'apparecchiatura. Ancora una volta un database ingegneristico può essere di notevole aiuto permettendo una facile rintracciabilità delle informazioni a partire dalle specifiche dei componenti fino ai dettagli di progettazione ed alle specifiche di qualità. Nel capitolo 3 abbiamo classificato i microprocessori secondo il criterio BPW-bit per word. Nel capitolo 4 abbiamo seguito un approccio differente, considerandoli dal punto di vista dell'utente finale:

1. *low-end* (controllori);
2. *intermediate* (general purpose);
3. *high-end* (tipo minicomputer);
4. *bit-slice* (per emulazione).

Le caratteristiche del low-end sono: da 4 a 8 BPW; solo capacità binarie; minimo di chip; facile programmabilità; limitato numero di situazioni; progettazione non orientata all'utilizzo di grande memoria; velocità non alta; funzioni aritmetiche limitate; interrupt di tipo semplice; buon utilizzo dell'I/O; orologi su un chip (per processi in tempo reale).

Il microprocessore general purpose, *intermediate,* sarà caratterizzato fondamentalmente da: 8 a 16 BPW; una memoria maggiore di quella disponibile con il *low-end;* maggiore velocità; una struttura di I/O molto flessibile; possibili interrupt molto sofisticati; software valido; valide funzioni logiche ed aritmetiche; insieme di istruzioni-base abbastanza completo. Bisogna essere cauti per quanto riguarda il livello delle funzioni di sistema: se si chiede troppo si rischia che il processore sia o fuori mercato o soppiantato da tecnologie meno costose; se invece si chiede troppo poco il rischio è che abbia un prezzo non competitivo.

Quest'ultima osservazione è valida anche per i microprocessori di tipo *high-end.* In genere queste sono le caratteristiche: da 16 a 32 BPW; un insieme di istruzioni molto completo; funzionalità ad alta velocità; capacità di gestione di grandi memorie; flessibilità nell'indirizzamento; disponibilità di package di software piuttosto sofisticati. Infine il microprocessore *bit-slice* che hanno già attratto la nostra attenzione per la linea caratterizzata dall'espandibilità del *bit-slice mechanism* (potremo avere microprocessori a 32 bit dal 1983/84 del tipo *high-end*); sono dotati di alta velocità; capacità microprogrammabili per emulazione; un sofisticato microcontrollo, alta efficienza per l'I/O.

Vi sono poi altre importanti considerazioni che riguardano la scelta del partizionamento del sistema e le limitationi nei piedini di attacco. Se tutto il microcomputer può essere realizzato su un solo chip, il partizionamento del sistema non presenta problemi. Altrimenti dobbiamo dividere il sistema in più chip e partizionare i registri, le unità logiche e aritmetiche. Tutto questo comporta un ritardo nelle transazioni da chip a chip di circa 150-200 nanosecondi; questo è un tipico problema che il CAD può aiutare a risolvere.

Il problema del ritardo nelle transazioni può essere risolto utilizzando tecniche di *pipelining* o chip con un maggior numero di piedini. La limitazione nel numero di piedini è uno dei maggiori fattori di cui occorre tener conto nella progettazione della sezione di controllo dell'unità. Sia la tecnologia che i costi suggeriscono di usare impaccamenti con un gran numero di piedini in modo da minimizzare le transazioni da chip a chip.

Un criterio fondamentale rimane quello del fattore costo: successive riduzioni richiedono l'impiego di tecniche migliori. L'architettura microprogrammata che utilizza RAM e ROM rappresenta un mezzo per ridurre il costo di progettazione, di produzione e di servizio presso l'utente dei processori digitali; si possono ottenere in questo modo piastre con schemi semplificati; è necessario un minor numero di connessioni, permette collegamenti semplificati e rende più rapida l'attività di progettazione del sistema.

La qualità dovrebbe essere evidentemente valutata insieme ai costi. Dal punto di vista tecnologico, a livello wafer, un parametro per giudicare la qualità è il numero di difetti presenti sulla superficie alla fine del processo produttivo. Se con il tempo questo numero diminuisce è possibile realizzare circuiti con superfici sempre più ampie e, corrispondentemente, poter disporre di complesse funzioni logiche. La qualità al livello PCB richiede più attenzione ai dettagli: anche le regole per la creazione dello schema dovrebbero essere sempre meglio definite ed è questo un motivo per cui si è cercato di risolvere già a livello di chip alcuni dei problemi che si sono incontrati nella fase di assemblaggio della piastra.

In questo senso è stata trovata una soluzione per superare i blocchi logici elementari estremamente ridotti, in modo che nella stessa area di silicio è stato possibile realizzare più funzioni elementari. Queste realizzazioni sono significative proprio perchè nel pianificare circuiti logici ad alta complessità è necessario aver bene presenti sia le funzioni che sono ottenibili sia un piano che prevede una produzione su vasta scala capace di ammortizzare le spese di progetto.

I produttori sono estremamente consapevoli di ciò e sempre più concentrano la propria capacità di produzione e di progettazione proprio in vista di economie di scala. La Figura 8.4, fornita dalla Fujitsu e contenuta nel rapporto annuale agli azionisti, mostra esempi dell'attuale linea di produzione: (a) una varietà di apparecchiature ottiche semiconduttrici; (b) un circuito LSI di tipo semipersonalizzato; (c) apparecchiature con memoria RAM a tecnologia MOS di 64 bit a 5 volt.

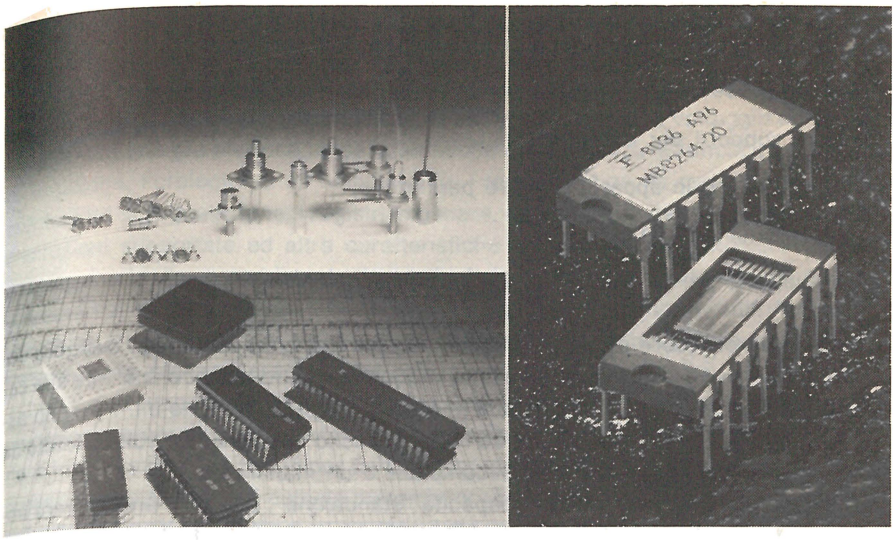


Figura 8.4 — esempi di un'attuale linea di produzione: (a) varietà di apparecchiature basate su semiconduttori ottici; (b) circuiti tipo "semi-custom" realizzati con la tecnologia LSI; (c) memoria RAM di tipo MOS a 64KB a + 5V.

Per avvantaggiarsi degli effetti della produzione di scala, si è sviluppata una tendenza ad abbandonare la produzione di circuiti personalizzati, richiesti da un cliente per soddisfare le proprie particolari esigenze, e ad incentivare la creazione di circuiti polivalenti che possono essere personalizzati dal singolo utente semplicemente specificando la presentazione finale; il che corrisponde all'ultimo livello di metallizzazione.

Il successo di questa via è estremamente correlato con la scelta delle funzioni: è stato relativamente semplice e spontaneo fare le giuste congetture con i serializzatori da usarsi nel campo delle trasmissioni con i modem integrati, con i multiple drum-register, con i calcolatori tascabili. Questo compito però è diventato ora più complesso, dopo la messa a disposizione del microcomputer capace di eseguire programmi.

4 – MICROPROCESSORI E MICROCOMPUTER

I circuiti di cui abbiamo discusso riguardano i microprocessori: questo livello definisce uno o comunque un piccolo numero di chip, per la gestione delle funzioni della CPU incluso l'insieme di istruzioni disponibili, eventualmente le memorie RAM e ROM e le interfacce per le periferiche. Oltre che per altre funzioni i microprocessori

sono usati per costituire microcomputer; con questo termine ci riferiamo al concetto di computer su una sola piastra su cui dunque si trovano:

- il microprocessore,
- alcuni supporti per la memoria;
- interfacce per le apparecchiature periferiche,
- le funzionalità di I/O,
- un supporto per le funzioni di programmazione.

Un microprocessore è come un chip connesso a una macchina per svolgere determinate funzioni; si può dire che è una "macchina dentro la macchina". Le sue capacità logiche pre programmate sono microprogrammate a livello bit. Possono assumere la forma di ROM/PROM o, se RAM, possono essere a loro volta pilotate da una unità più capace quale un minicomputer o un mainframe.

I primi processori non avevano capacità "standalone"; questo è ancora vero anche se la terminologia varia a seconda di chi li usa. Considerando il microprocessore da questo più limitato punto di vista, lo possiamo vedere come componente di un canale, di un'unità disco, di una telecamera o di una macchina da cucire. Da questo punto di vista il microprocessore è un sistema completo; infatti ha il suo input, output, un'unità logico aritmetica (ALU - aritmetic logic unit) di una frazione di MIPS, una memoria, anche a multilivello, capacità di comunicazione, gestione degli interrupt, capacità di gestire un video, un bus che solitamente opera a meno di un MBPS e può essere programmato dall'utente finale.

Ma è anche vero che un microcomputer non è un sistema completo nel senso con cui siamo abituati a pensare ai mainframe che sono solitamente programmati dall'utente o anche da specialisti; i microcomputer sono in grado di gestire altre macchine (mini - periferiche - terminali); dispongono di capacità di input output; hanno una memoria centrale di "n" mega-byte; gestiscono una memoria esterna multilivello (solitamente dischi, nastri, memoria di massa); sono supportati da software sofisticato (OS - operating system, VS - virtual system e integrazione in rete); hanno una CPU di "n" MIPS ed un bus di 2-3 o più MBPS.

Evidentemente queste definizioni cambiano con l'avanzare della tecnologia; disponiamo comunque di una buona esperienza per stabilire ad ogni livello criteri ed obiettivi per le macchine che vogliamo usare, e questo si attua scegliendo i microprocessori, il tipo di chip, la progettazione, la velocità, la precisione, il supporto di vendita, il prezzo ed altre importanti caratteristiche come la potenza d'alimentazione richiesta, l'insieme delle istruzioni e la struttura di interrupt. In particolare l'insieme delle istruzioni deve essere esaminato dal punto di vista delle possibilità offerte: operazioni in decimale, divisione e moltiplicazione a livello hardware; trasferimento di blocchi di memoria; incremento e decremento automatico dei registri; manipolazione delle stringhe; test automatico di bit di controllo e le istruzioni di I/O. Qualunque siano le capacità messe a disposizione dalle istruzioni del microprocessore,

queste si rifletteranno grandemente in tutto l'ambiente in progettazione: il microcomputer, il controller, il terminale. Le differenze tra chip sono spesso visibili anche nel prodotto finale.

Le differenze tra chip possono esistere per le dimensioni, il voltaggio richiesto, il consumo di energia elettrica, le caratteristiche di affidabilità, ed ancora per il numero di piedini, l'orologio su un singolo chip, i registri indice, la modalità d'indirizzamento, i bit di segnalazione, i registri in genere, l'architettura dei collegamenti, il tipo d'istruzioni supportate ed altre caratteristiche sempre presenti. Il rinfrescamento della memoria, l'arrotondamento decimale, le istruzioni per lo scambio dei dati, le istruzioni per il trasferimento e la ricerca di blocchi di memoria, il "salto relativo", il test di bit, istruzioni esplicite di I/O, capacità di ripristino e tante altre che possiamo trovare già a livello di progetto del chip.

I chip che supportano i microprocessori possono avere un I/O parallelo o seriale; un orologio programmabile per scandire gli intervalli, un accesso diretto alla memoria e funzionalità di controllo per unità video, tastiera, floppy e altro. Possono anche prevedere funzionalità di calcolo matematico; sottoprogrammi capaci di minimizzare la dimensione dei programmi a spese della velocità d'esecuzione, algoritmi di calcolo e capacità di ripetere i calcoli quando accade che, ad esempio, il 90% del tempo di esecuzione è speso sul 10% del programma.

Un'altra caratteristica critica della progettazione è il sistema di memoria; tra i vari punti da considerare vi sono: il tempo di accesso e di lettura, il tempo di scrittura e di controllo, le capacità d'indirizzamento e trattamento dei dati, l'utilizzo dello spazio per l'indirizzamento e la collocazione delle ROM, PROM, RAM e parti di I/O. Considerando la PROM — programmable read only memory — bisogna domandarsi se è programmabile una volta installata presso l'utente e se è sostituibile (EPROM). Può la memoria essere cancellata e programmata oppure è programmabile solo al momento della produzione? Come si risolve il problema se è facile manomettere il programma?

Anche la memoria RAM può essere fornita in versioni differenti: statica e dinamica. La dinamica è più grande (64 KB) e deve essere "rinfrescata"; la statica è più limitata (8 KB) e non ha bisogno di "rinfrescamento". Le tecnologie usate possono essere:

- CMOS (tempo di accesso di 800 nanosecondi),
- MOS (tempo di accesso 450 nanosecondi),
- Bipolare (veloce con tempo di accesso di 50 nanosecondi),
- ECL (molto veloce con tempo di accesso di 20-30 nanosecondi),

considerando che il tempo di accesso è calcolato tra il momento d'applicazione dell'indirizzo e l'ottenimento di dati validati.

Abbiamo parlato dell'uso dei microprocessori pronti disponibili sul mercato in contrasto con la tradizionale tendenza a progettarli volta a volta secondo le neces-

sità dell'utente, ma anche in questo caso vi sono vantaggi e svantaggi. La prima strada permette una significativa riduzione dei costi; non sono però possibili modifiche anche se funzionalità aggiuntive possono essere prontamente realizzate; bisogna inoltre ricordare che è possibile trarre vantaggio dalle funzionalità incorporate nei microprocessori e nei chip.

Il relativo svantaggio sta nel fatto che è difficile realizzare applicazioni con alte velocità; inoltre non è facile raggiungere una valida integrità dei dati con i microprocessori commercialmente disponibili (e questo perchè non gestiscono la parità interna); anche la possibilità di effettuare test è limitata dalla mancanza di accesso ai componenti interni e dal fatto che l'attività di test sta diventando sempre più difficile a causa dell'aumento di complessità dei circuiti VLSI; altri fattori sono gli strumenti di sviluppo, le apparecchiature per i test ed i costi di formazione che tutti insieme costituiscono un cospicuo investimento.

I vantaggi e gli svantaggi possono essere adeguatamente controbilanciati tra loro se le funzionalità sono state definite chiaramente. Queste solitamente includeranno le interfacce verso il sistema che si dovrebbe controllare ed il flusso di dati da e verso tale sistema in termini di:

- formati,
- precisione,
- calcoli,
- accumulo.

Altrettanto importanti sono le caratteristiche delle interfacce verso l'operatore: sia per tempo reale che per manutenzione, o verso unità remote, trasferimento di dati e comunicazione, funzionalità per la sicurezza e capacità logiche. Per ben studiare queste ultime chi progetta l'applicazione dovrà tenere in gran conto la necessità di richiedere al produttore di microprocessori un insieme di istruzioni completo e ben documentato, compreso un diagramma di flusso dei microprogrammi.

Il progettatore di apparecchiature dovrà anche tenere in gran conto l'influenza che hanno le apparecchiature di I/O sulla applicazione da lui progettata; dovrà valutare la semplicità e la flessibilità di strutture alternative di microcomputer, e valutare attentamente le capacità di I/O che potrebbero essere utili in uno specifico ambiente: concentrandosi sulle porte di I/O, sui controllori per specifiche unità di I/O, su una versatile struttura di interrupt, la disponibilità di un orologio programmabile ed altre caratteristiche volta a volta definibili.

Per fare tutto ciò con competenza ed aderenza al problema dovrà dapprima stabilire le prospettive applicative; considerare quali saranno i lavori che occuperanno con maggior probabilità la maggior parte di tempo e finalmente valutare le caratteristiche software di vari microcomputer che potrebbero essere adeguati al suo caso: la versatilità e l'efficienza dell'indirizzamento, la struttura delle sottoroutine (flessibilità di parametri e capacità di test); valutare la facilità con cui possono essere sottoposti a test gli indicatori e la facilità con cui possono essere impaccate e disimpac-

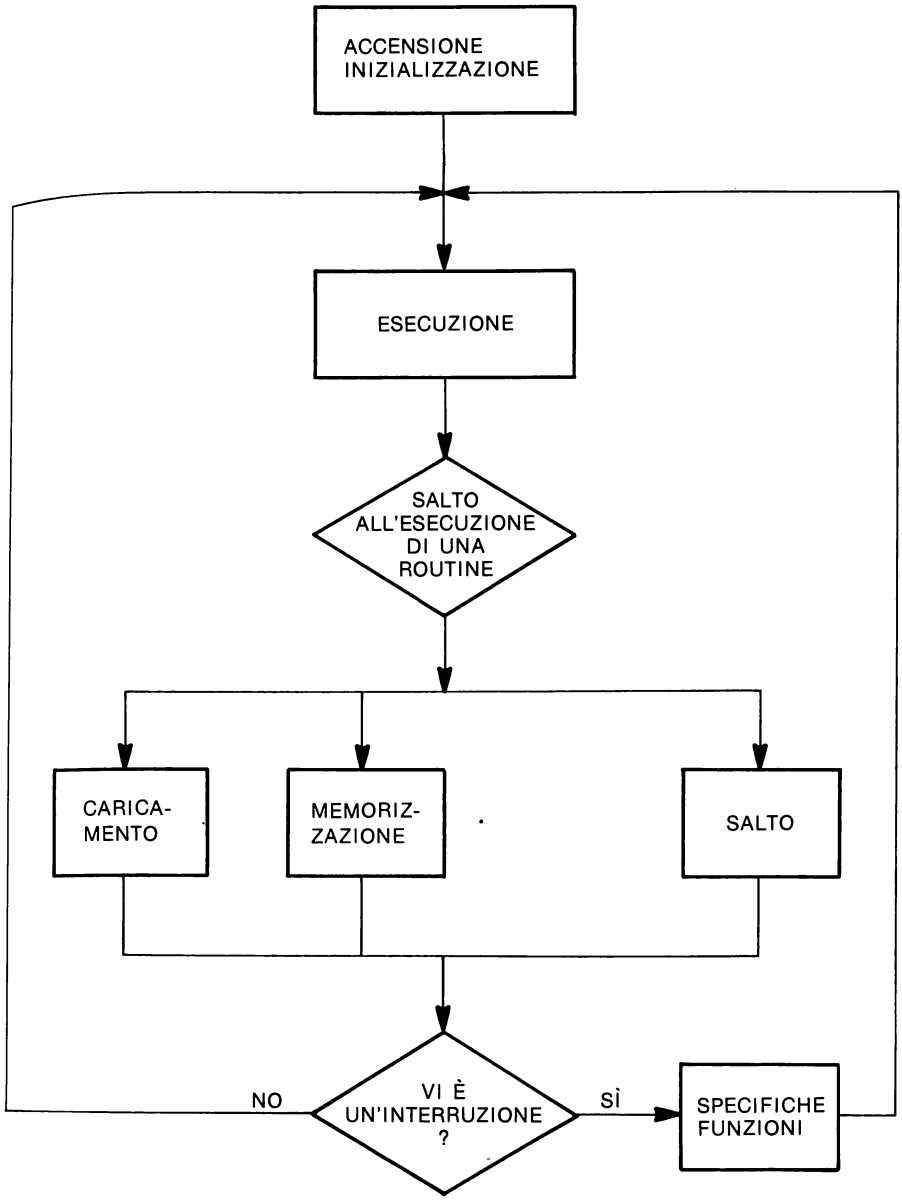


Figura 8.5 — esempio di flowchart di un microprogramma e del relativo sottoinsieme di istruzioni.

cate le parole di dati. Tutto ciò fa parte del mestiere e anche se il considerare attentamente tutti i punti che abbiamo detto non garantirà automaticamente l'ottenimento di un buon prodotto, è anche vero che il trascurarli significherà arrivare ad un prodotto non valido.

5 — ALCUNE APPARECCHIATURE DI MEMORIZZAZIONE

Una corretta scelta del supporto di memorizzazione può far risparmiare ed insieme aumentare l'efficienza di un sistema. Il tempo che un programma attende perchè i dati appaiano nella memoria centrale è, almeno in parte, un considerevole fattore d'incidenza del supporto di memorizzazione sul throughput del sistema. Per determinare quali sono i supporti che si dovrebbero scegliere (floppy, memoria a bolle, nastri, dischi, memoria di massa o loro combinazioni) potrebbero essere utili le seguenti domande:

- come sarà usata la memoria?
- a quale velocità, nel progettato utilizzo, si deve accedere ai dati?
- quali sono le possibilità che stanno tra un rapido accesso ai dati ed un basso costo di memorizzazione?
- è necessaria una memoria grande o piccola?

Quando la necessità di memoria è contenuta la memoria a bolle può competere con il floppy disk particolarmente grazie alla caduta di prezzo prevista nei prossimi 3 anni; nello stesso modo quando la necessità di memoria è contenuta, se è molto importante il basso costo, sono anche importanti le capacità di accesso RANDOM ed allora i floppy disk possono competere con successo con le cassette. Tutto ciò in via molto generale; un modo di procedere sicuro sta nel fatto che in ogni situazione il progettatore dovrebbe esaminare quale tecnologia può offrire e a che prezzo, ricordando che le tecniche di produzione su larga scala riducono il prezzo di ogni supporto e rendono possibile la memorizzazione di grandi quantità di dati in un modo economicamente vantaggioso.

Riferendosi sempre all'esempio fatto, tra un floppy di 250 KB di capacità ed un'unità disco da 2,3 GB vi sono 4 ordini di grandezza di differenza. Come sarà utilizzata questa grande capacità? Sono le enormi basi di dati verso cui ci stiamo muovendo che necessiteranno di una tale capacità e così sarà per le capacità di comunicazione su larga banda che saranno supportate dalle fibre ottiche e dai satelliti con l'esigenza di capaci unità di memorizzazione.

Trattando di apparecchiature di memorizzazione, dovremo ricordare con attenzione l'ampia fascia di tipi di circuiti e tecnologie usate. Si parte dai 200 KB di un floppy a singola densità ai 2,3 GB previsti dai recenti annunci di dischi fissi ed anche oltre. Un esempio di questo "oltre" è la memoria di massa su cartridge introdotta alla fine del 74 dall'IBM che sta diventando un campo di notevole competizione e concorrenza; la Figura 8.6 mostra un'unità di memoria di massa della Nec che supporta fino a 256 GB.

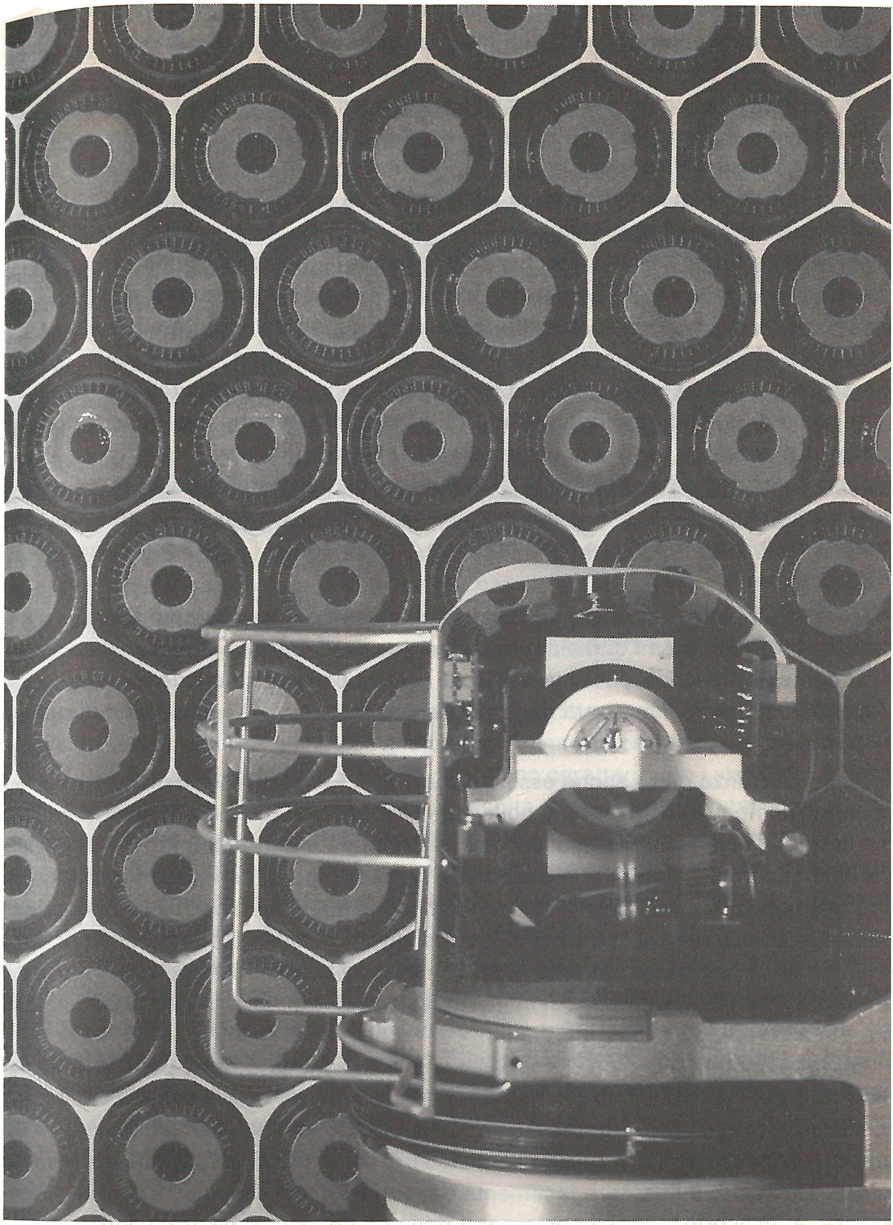


Figura 8.6 — un'unità a memoria di massa nella NEC. Anche l'IMB e la CDC sono tra i maggiori concorrenti operanti in questo campo in continua espansione.

Un altro punto assolutamente degno di attenzione quando si parla di memoria è il processo di sostituzione che sta continuamente avanzando. Le memorie a bolle non sono state in grado di sostenere lo sviluppo che era stato per loro previsto fin dal 1977. La memoria a bolle però ha delle caratteristiche uniche che potrebbero aiutarla a mantenere un angolo sicuro di mercato. Essa infatti opera molto più velocemente della memoria a disco; non ha parti in movimento ed è quindi più affidabile; è meno cara dei semiconduttori ed ha in più la capacità di mantenere memorizzati i dati anche quando l'unità è spenta.

Uno dei problemi iniziali consisteva nel fatto che la memoria a bolle risultava difficile da controllare. I primi produttori, come la Rockwell International e la Texas Instruments, arrivarono relativamente tardi allo sviluppo delle unità elettroniche necessarie a rendere la memoria a bolle facilmente usabile con i dischi (circa la metà del costo di un sistema di memorizzazione sta proprio nei suoi circuiti elettronici). Una svista di questo genere è costata un paio d'anni in termini di accettazione da parte del mercato e, con la caduta dei prezzi dei semiconduttori e dei dischi, ha contribuito a restringere le possibilità di mercato della memoria a bolle. Vi sono però previsioni che indicano ora che il mercato potrebbe crescere di 10 volte dal 1985 con la possibilità che i chip a bolle possano occupare tutta l'area applicativa fino a 2 MB occupate dai dischi.

Mentre per i mini e maxicomputer questo segmento di mercato non supera il 5% delle vendite dei sistemi di memorizzazione, le conseguenze sui personal computer e sui computer tascabili possono essere di grande portata; chiunque ha avuto occasione di confrontare il tempo di risposta di una memoria a bolle con quello di un floppy può ben capire il perchè.

La concorrenza potrà anche essere accanita: la Rockwell International ha abbandonato il campo della memoria a bolle ma vi è un affollarsi di nuovi partecipanti, come la Intel, la National Semiconductors, la Motorola e la Hitachi. Per far fronte alle caratteristiche di rimovibilità e trasportabilità del supporto con i dati registrati, tipiche del floppy, sia la Texas Instruments che la Intel stanno introducendo sistemi cartridge a bolle rimovibili e sono all'esame altre possibilità. Ecco perchè si è detto che con la caduta dei prezzi che ci si attende per la memoria a bolle nel corso dei prossimi 2 anni questa tecnica di memorizzazione ci fornirà unità degne della massima considerazione.

Gli avanzamenti tecnologici costituiscono la ragione principale per cui le precedenti soluzioni tecnologiche sono venute meno nel campo degli accessi on-line e sono rimaste, in gran parte, come supporti dell'I/O. Questa ad esempio è la storia del nastro magnetico che con i sistemi più moderni serve prima di tutto all'interscambio di dati. Un nastro può essere facilmente trasportato da un sistema all'altro e può costituire un supporto a basso costo per il ricovero dei dati. Il nastro magnetico però ha la fondamentale limitazione di un lungo tempo di accesso a causa del trattamento sequenziale degli archivi registrati e del ritardo, che si riflette sull'intero sistema, causato dalle operazioni di montaggio e smontaggio dei nastri (lo stesso vale per le cassette).

Per far fronte al problema della disponibilità on-line dei dati invece che i nastri si usano generalmente i dischi (hard disk), che offrono tempi di accesso ragionevolmente bassi ed una maggiore velocità di trasferimento. Quando si usano le unità a disco il tempo di accesso di dati e di trasferimento è calcolato in millesecondi piuttosto che in secondi come avviene con i nastri. Non solo ne è aumentata l'efficienza del sistema ma sono anche ridotti i costi di comunicazione; e questo è fondamentale nel campo dei computer e delle telecomunicazioni.

I punti di maggiore confronto tra i nastri ed i dischi magnetici sono dunque il costo per accesso ed il costo per bit memorizzato. Ad esempio, per individuare con un accesso casuale un record su un nastro interamente memorizzato si dovrebbe impiegare un tempo medio di 72 secondi assumendo una velocità di svolgimento di 200 Inch per secondo (= circa 500 metri al secondo). Il tempo per individuare lo stesso record su un disco da 200 MB varia da 30 a 80 millisecondi (a seconda della tecnologia usata) ed il tempo di accesso è indipendente dalla posizione fisica del record.

Per applicazioni che richiedono piccoli volumi di dati, i floppy sono le unità più favorite. Il maggior vantaggio dei floppy rispetto alle cassette è il veloce tempo di accesso: da 1 a 2 ordini di grandezza più veloce. Inoltre è l'unità ad accesso casuale che presenta una migliore affidabilità rispetto alla cassetta ed è fornita di ragionevoli standard mentre questo non è vero per le cassette.

Uno svantaggio del floppy è il costo di memorizzazione per bit, infatti il floppy può costare da 2 a 3 volte di più della cassetta per un equivalente quantità di memorizzazione.

Come abbiamo ben stabilito, un criterio fondamentale per la scelta del supporto di memorizzazione è la decisione sull'adeguata dimensione di memoria che ci necessita. Abbiamo considerato un po' i passi che hanno caratterizzato i sistemi di memorizzazione dei computer in termini di alta velocità, basso costo, accesso casuale e capacità di memorizzazione. Non dimentichiamo che un solo floppy è in grado di offrire oggi circa 1/5 di quello che era considerato "una grande capacità" nelle prime memorie degli anni 60, e cioè circa 50 megabit. Questa storia suggerisce il parallelo delle memorie a bolle che andranno a sostituire i floppy.

Con un tempo di accesso di circa 300 millisecondi al costo di circa 1 lira per bit le grandi memorie del 1960 dischiusero nuovi orizzonti all'elaborazione dei dati. Del tutto similmente i floppy sono stati di grande utilità nel far accettare agli utenti il concetto di microfile locale; il loro tempo di risposta però, anche se migliore di quello delle cassette, è ben lontano da quello che può offrire la memoria a bolle. Con una caduta di prezzo, che sono in molti a prevedere, il loro tempo di risposta pressochè istantaneo fornirà alla memoria a bolle un indiscutibile vantaggio.

CAPITOLO 9

INTERCONNETTERE E INTERFACCIARE

1 – INTRODUZIONE

Abbiamo stabilito che la differenza fondamentale tra un microprocessore ed un microcomputer è che il primo è una macchina nella macchina mentre il secondo potrebbe essere considerato un sistema completo. Un sistema completo ha di per se stesso la capacità di incorporare un certo numero di unità, come moduli di memoria e periferiche, che comunicano tra loro grazie ad appropriati "drivers" (routine software) e scambiandosi informazioni su di un bus.

La soluzione basata sulla struttura a bus è ormai diffusissima per i microcomputer dal momento che è stata sensibilmente semplificata con l'uso di regole di interfacciamento standard (sia hardware che software) per tutte le apparecchiature interessate alla connessione. In generale un'architettura di microcomputer richiede il collegamento del processore centrale, dei moduli di memoria e dell'Input/Output attraverso un insieme di bus. Molto è stato detto nei precedenti capitoli ed abbiamo anche stabilito che sono tre le parti di maggior rilievo nella struttura totale di un bus:

- indirizzamento,
- dati,
- controllo.

Quarto punto può essere considerato quello dell'alimentazione. Qualunque sia l'uso a cui è destinato, la sezione di un tipico bus consisterà di una quantità di linee: queste potranno essere fili di collegamento incisi su una piastra a circuiti stampati; fili saldati tra connettori su cui sono innestate piastre circuitali; o nastri di fili. Abbiamo inoltre accennato al fatto che le parti componenti di un microcomputer sono fisicamente impaccate su una o più piastre a circuiti stampati, il cui numero e tipo di funzioni espletate da ciascuna, variano secondo il tipo di sistema e secondo il produttore.

Su ogni piastra il *data bus* si occupa di trasferire da un sottosistema ad un altro l'informazione da gestire. I segnali usati per controllare l'indirizzamento e le funzioni di trasferimento dei dati sono gestiti dal *control bus;* questi segnali riguardano condizioni precise, quali: lettura della memoria; scrittura in memoria, rilevazione dell'indirizzo dei dati, ecc. L'*address bus* è utilizzato per specificare la localizzazione della memoria o porta di I/O da cui i dati devono essere letti o su cui devono essere scritti. Il *power bus* distribuisce l'energia dall'alimentatore del sistema ai vari sottosistemi del microcomputer; è richiesta una corrente continua ad un certo voltaggio.

L'interconnessione e l'interfacciamento non sono solamente importanti punti della progettazione e realizzazione di microcomputer ma anche parti e funzionalità molto costose. La Sharp ha recentemente annunciato un computer tascabile a 4 bit con capacità di programmazione in Basic; una stampantina a matrice su rullino di carta capace di scrivere numeri e lettere ad una risoluzione di 24 punti; tastiera numerica ed alfabetica completa; protezione della memoria; funzioni di play-back; spegnimento automatico; possibilità di trattare dati e testi. Questa apparecchiatura costa all'incirca 140.000 lire. È disponibile un'interfaccia a 16 bit per stampante/cassetta e presto vi sarà anche l'interfaccia per il controllo di una linea di comunicazione. L'interfaccia per stampante/cassetta costa circa 125.000 lire più il costo della cassetta; il che rappresenta il 90% del costo dell'unità centrale.

2 — REALIZZARE UN'INTERFACCIA

Interfacciare praticamente significa connettere il microprocessore con il mondo esterno e con le sue unità di memoria interna; questo rende possibile realizzare i componenti centrali, fissare i *bus* e il generatore di impulsi temporali; collegare il tutto alle apparecchiature esterne. Seguendo un tale modo di procedere il punto di partenza è costituito dall'ALU e dal generatore di impulsi temporali; quest'ultimo assicurerà che le funzioni si susseguiranno l'una all'altra al momento giusto. I meccanismi di interconnessione meritano particolare considerazione: sarà un meccanismo di trasferimento che si occuperà di far giungere il contenuto di uno o più registri a quelle unità che sono in attesa di riceverlo.

Più le unità sono intelligenti più è necessario prestare attenzione alle capacità di interconnessione. Un semplicissimo microprocessore sarà tipicamente non-intelligente, impossibilitato a prendere decisioni. Si potrebbe anche collegargli un'unità per permettere la visualizzazione, ma ciò non cambierebbe il contenuto. Per rendere l'unità più intelligente, l'ALU deve generare alcune operazioni condizionali quali, ad esempio, salto ad una certa funzione se si realizza una determinata condizione; ovviamente devono essere fornite le parti necessarie a realizzare tutto ciò.

Il risultato di un'unità più intelligente sarà condizionato da passi procedurali realizzati a livello di CPU. Nell'esempio illustrato in Figura 9.1 la linea (A) o la (B) o entrambe, possono influenzare la decisione. Nei primi microprocessori la progettazione prevedeva che il meccanismo decisionale risiedesse in un altro chip ed approcci

più sofisticati prevedevano l'inclusione di più funzioni: alcune influenzavano il contatore delle istruzioni in programma in modo incondizionato; altre operavano al realizzarsi di ben determinate e predefinite condizioni.

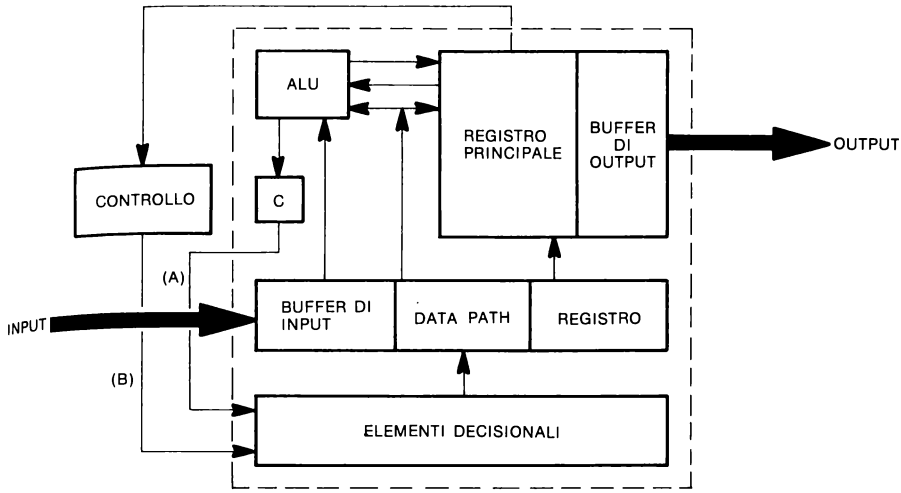


Figura 9.1 — fasi procedurali realizzate a livello di CPU; sia il tragitto (A) che quello (B) possono influenzare la decisione.

In questo stesso esempio la linea (A) potrebbe rappresentare una condizione di "riporto" in seguito alla somma di due numeri; la linea (B) il risultato di un confronto, in seguito ad un'operazione di addizione o di sottrazione. Può essere: cambia il contenuto del contatore di istruzioni-programma se il contenuto del registro A è uguale a 1. Sistemi più completi di quello elementare illustrato in Figura 9.1 prendono la struttura di "stacking computer" (Figura 9.2), che è costituito da più parti componenti: bus, loop hardware e capacità di programmazione. Daremo una rapida occhiata alle caratteristiche "stacking", quando si parlerà di trasferimento di dati.

Come le funzioni di un'apparecchiatura diventano polivalenti, l'attenzione per l'interfacciamento dovrebbe proporzionalmente aumentare. Per qualunque tipo di progettazione dovremmo considerare con attenzione i comandi per il trattamento dei dati; la loro distribuzione e l'accesso alle memorie. Questi sono punti fondamentali e le più elementari istruzioni di un microprocessore sono proprio destinate a quelle funzionalità. In altri termini, mentre l'insieme di istruzioni varierà da micro a micro (e da macro a macro), alcune operazioni fondamentali saranno sempre presenti, quali quelle riguardanti l'interfacciamento.

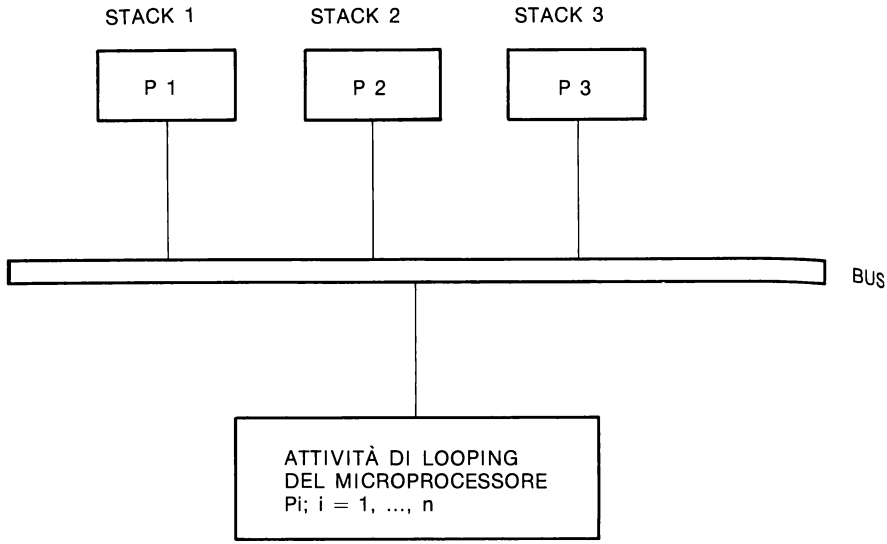


Figura 9.2 — uno *stacking computer* basato sul principio dei *building block* con capacità di programmazione *stack* (si richiedono inoltre canali per multiplexaggio).

Un altro tema che dovrebbe riscuotere la necessaria attenzione negli studi di interfacciamento è quello rappresentato dal *buffering.* Un progetto completo che prevede l'accoppiamento di differenti circuiti ed apparecchiature richiede appropriati buffers. È compito del progettatore ottimizzare le dimensioni del buffer per mantenere sempre coordinato il sistema: lo scopo è tenere bilanciati i tempi della CPU e quelli degli altri circuiti. La realizzazione di buffer come quella delle interfacce ha costi non trascurabili.

In effetti il buffering tra i componenti della macchina è ben più che un semplice problema di bilanciamento di velocità. Un esempio è la conversione dei codici; inoltre il buffer può essere l'elemento di saldatura tra differenti linee di prodotti. Ammesso che l'intera linea di prodotti venga da un solo fornitore, rimane il fatto che *non* è per niente auspicabile la dipendenza da un solo fornitore. La Nippon Electric, ad esempio, realizza prodotti su progetti che prevedono la compatibilità *spec-to-spec* piuttosto che *pin-to-pin* con linee di altri fornitori; in questo modo si rende appetibile a tutti quei clienti che hanno scelto di non dipendere da un solo produttore.

Altre motivazioni che comportano la necessità di buffering (e di traffing) sono gli interrupt e la gestione delle priorità; l'I/O è tuttavia il punto dove si trova il maggior numero di varietà in termini di progettazione e fornitori. È infatti in relazione al tipo di progetto e di fornitore che si troveranno associati all'I/O vari differenti registri.

I problemi di interfacciamento diventano sempre più importanti da quando clienti con sofisticate richieste acquistano microcomputer direttamente dalla distribuzione spicciola, al dettaglio; i professionisti imparano ad usare i micro sia in ufficio che a casa, per determinate applicazioni che a loro volta richiedono migliore interfacciamento. I venditori hanno iniziato a distribuire all'ingrosso senza avere così nessuna informazione sull'utilizzo finale. I microcomputer inoltre stanno diventando sempre più potenti, come nel caso del nuovo micromainframe a 32-bit. Alcuni dei problemi di interfacciamento poi, che oggi assillano i più grandi complessi, emergeranno richiedendo soluzioni a livello di microprocessore.

3 – TRATTARE I DATI E L'INDIRIZZAMENTO

L'attività di interfacciamento che è fatta dai microprocessori ha una grande somiglianza con quella dei microcomputer con una eccezione: il limite del numero di piedini imposto dall'impaccamento. Le soluzioni adottate per l'impaccamento restringono l'ampiezza dei canali per il data communication. Con i canali più limitati che si trovano comunemente nei microprocessori, le linee sono spesso multiplexate tra dati ed indirizzi.

Tale multiplexamento di dati ed indirizzi non complica significatamente il progetto delle interfacce, ma rallenta il trasferimento specialmente in paragone ad un sistema dove dati ed indirizzi possono essere trasmessi su linee dedicate. Altra tecnica di interfacciamento comune con i microprocessori è la *memory mapped I/O.* Secondo tale soluzione i registri d'interfaccia sono trattati come locazioni speciali nello spazio di memoria indirizzabile, e le interfacce sono connesse al bus della memoria in modo tale che non vi sono speciali linee di I/O nè sono necessarie speciali istruzioni di I/O.

Il tipo di progettazione varia sia in funzione della tecnologia sia in relazione alla linea di prodotto dell'azienda fornitrice. I prodotti delle aziende operanti nel campo dei semiconduttori comprendono i computer su un solo chip che combinano la CPU, i circuiti di controllo, la memoria e l'I/O su un singolo package di circuiti integrati. Modalità più sofisticate sono necessarie quando i microcomputer si inseriscono in applicazioni più complesse che erano il tipico terreno dei mini: infatti il micro è arrivato a tanto dopo che un numero di notevoli avanzamenti si sono verificati nella loro progettazione.

La particolare attenzione che abbiamo posto nell'interfacciamento è anche prodotta dal fatto che questo era proprio uno dei più gravi limiti dei primi processori. Per superarli molti costruttori di microprocessori svilupparono speciali chip d'interfaccia in corrispondenza alle proprie apparecchiature. Questi ultimi provvedono a fornire su un singolo package, tutti i necessari circuiti logici per un'interfacciamento *general purpose.*

I singoli chip d'interfacciamento sono identificati dal sistema usando le linee di selezione d'indirizzo che sono costituite da fili esterni, i quali specificano l'indirizzo del particolare chip. Le operazioni di trasferimento dati da programma costituiscono

la tecnica più usata per l'I/O con i microprocessori, ma sono in uso anche altri tipi di interfacce. In questo senso il progetto di interfacce per microcomputer e i canali di I/O è strettamente legato a quello del processor centrale.

Sono previsti segnali di controllo ed istruzioni speciali per verificare lo stato delle apparecchiature periferiche e per trasferire i dati da e per certi punti; per realizzare ciò molti microcomputer tendono a fornire segnali di *lettura* e *scrittura* con le relative istruzioni. Vengono trasferiti sia i dati che le informazioni di stato della periferia, ed il programma individua lo stato dell'apparecchiatura periferica da indirizzare esaminando i bit trasferiti. Molti sistemi usano tecniche di *interrupt* nell'interazione con le unità periferiche. Vi sono tre forme fondamentali di comunicazione tra mini/microcomputer ed il mondo esterno:

1. programmed data transfer (PDT);
2. direct memory access (DMA);
3. interrupt.

La tecnica PDT consiste nel trasferire informazioni tra il mondo esterno ed i registri accessibili da programma residenti nell'unità logica e aritmetica del microcomputer; questo implica che il programma sia direttamente implicato in ogni trasferimento dati.

La tecnica DMA non coinvolge l'ALU nelle operazioni di scambio dei dati, ma effettua un trasferimento di dati direttamente tra l'unità di I/O e la memoria. In questo senso il trasferimento è iniziato istruendo il controllore di I/O sulle caratteristiche dell'operazione stessa: numero di parole che devono essere trasferite, il punto d'inizio della memoria, i codici di controllo esterni. Essendo il programma eseguito dal microcomputer esso può continuare anche se rallentato nell'esecuzione dalla concorrenza con il trasferimento DMA per l'uso della memoria di sistema.

Le interruzioni sono connesse alle operazioni di trasferimento in quanto esse costituiscono il mezzo con cui il mondo esterno può segnalare al controller del microcomputer che vi è stato un certo evento. La possibilità di disporre di interrupt non implica di per sè la capacità di trasferire dati alla memoria del computer; essa semplicemente permette di segnalare l'avvenire di un certo evento. Ricevuto un interrupt, il controller può informare il programma in esecuzione del fatto che si è verificato un evento trasferendo il controllo a locazioni predefinite *(vettori di interruzioni)*. Questo permette di identificare il particolare interrupt da trattare dopo averlo separato nel vettore di tutti quelli ricevuti. Se un solo vettore serve tutte le linee di interrupt, devono essere previste funzionalità per l'identificazione da programma dell'interrupt.

La Figura 9.3 illustra come sono organizzati usualmente un'interfaccia di microcomputer e la memoria di sistema: i bit *high order* del campo indirizzo sono decodificatori per selezionare blocchi della matrice-memoria; i bit *lower order* servono ad identificare i bit all'interno degli stessi blocchi. I dati vengono letti o scritti dai punti

indicati grazie al *data bus*, mentre il controllo logico serve (in merito al trasferimento dei dati) a preservare i dati di I/O ed, in altre operazioni, a *rinfrescare* i circuiti se la memoria è dinamica.

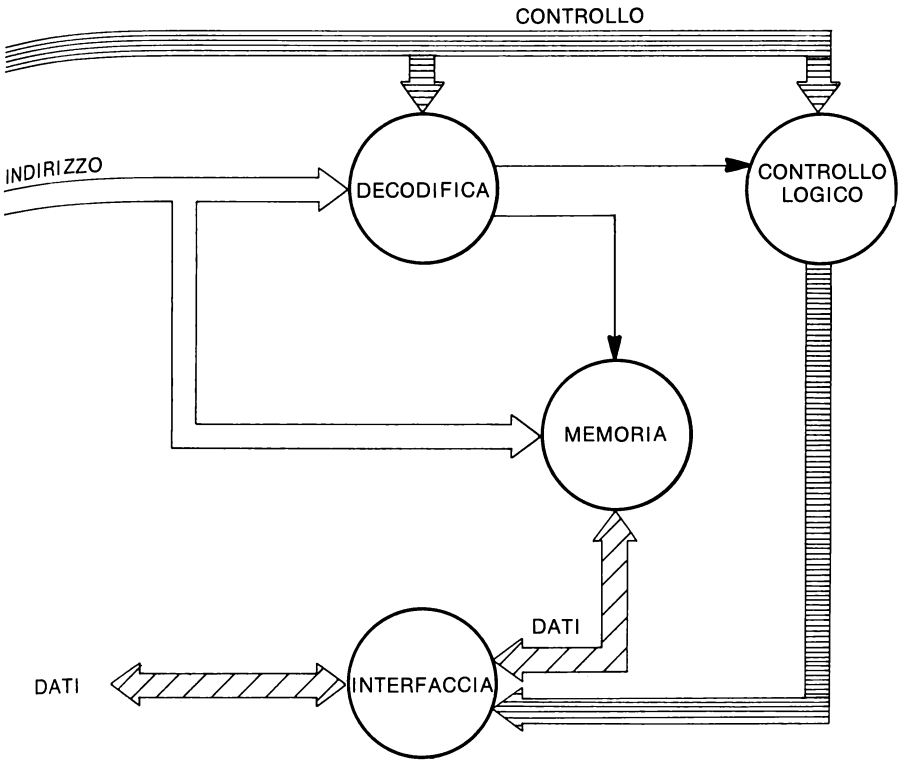


Figura 9.3 — organizzazione di una tipica interfaccia per microcomputer e memoria di sistema; i bit dell'indirizzo di ordine superiore sono decodificati per selezionare i blocchi della matrice di memoria; quelli di ordine inferiore servono per identificazione.

4 — INPUT, OUTPUT E TRASFERIMENTO DEI DATI

In molti microcomputer l'I/O è organizzato a parte: sono costituiti piccoli gruppi di linee di I/O sui quali avvengono scritture o letture in parallelo tra la CPU e le unità di I/O. Il numero di "linee-bit" in una porta è solitamente lo stesso della parola del microprocessore. Molti microcomputer possono essere equipaggiati con sottosistemi *plug-in* che contengono logica per svariate parti di I/O, con decodifica d'indirizzo per scegliere le parti specifiche:

— per l'input, le parole sono solitamente insiemi di *gate* logici che instradano i segnali in arrivo al *data bus* del sistema

— per l'output, le parti sono insieme di "passaggi" entro cui i segnali provenienti dal
Il concetto di stack è stato introdotto all'inizio di questo capitolo; il trattarlo rife-

Anche se il parametro BPW si riferisce ad un importante ruolo nella funzione di trasferimento dei dati, non si è riscontrata la necessità di sofisticare le capacità di I/O dal momento che i primi chip di microprocessori a 4 bit (Intel MCS-4; Rockwell PPS-4) erano usati principalmente in sistemi di computer dedicati, caratterizzati da una operatività a *throughput* piuttosto basso. Come la progettazione si orientò verso sistemi ad uso generico, si sviluppò anche la ricerca di chip capaci di gestire il controllo dell'I/O oltre che svolgere il normale trattamento dei dati. Questo segnò l'inizio della seconda tecnologia di microcomputer (circa nel 1973) con sistemi ad 8 bit, n-canali come l'Intel 8080 ed il Motorola MC 6800.

Tali processori, unitamente ad opportune memorie ed interfacce di I/O, costituiscono una famiglia completa di chip di microcomputer. L'accumulatore del modello 8080 e gli associati circuiti, sono stati spostati nell'unità logico-aritmetica per aumentare la velocità operazionale del processor. In questo modo non è richiesto trasferimento di dati tra la memoria e l'ALU sul *data bus* interno per poter effettuare operazioni logiche ed aritmetiche. Con la memoria del modello 8080 l'informazione può essere trasferita dal bus interno a 8 bit alla volta, mentre si può avere un trasferimento a 16 bit partendo dai registri d'indirizzamento. I miglioramenti organizzativi del modello 8080 hanno condotto a un certo numero di nuove possibilità.

Un ulteriore sviluppo è costituito dall'SOS (silicon-on-sapphire); tecnologia questa per maggiori velocità, che contribuisce a definire la terza generazione di microprocessori. Nuove istruzioni permettono di memorizzare e ricercare il contenuto di coppie di registri operando con stack di memoria esterni; questo è il modo più veloce di operare per salvare lo stato della macchina dopo che si è eseguito un interrupt; inoltre lo stack può essere usato come un'estensione dei registri interni. Vi sono poi nuove istruzioni che permettono un facile trattamento degli indirizzi e dello stesso stack di memoria in quanto entrambi possono essere incrementati e decrementati operando con 16 bit in parallelo.

Il concetto di stack è stato introdotto all'inizio di questo capitolo, il trattarlo riferendosi alla progettazione dei microprocessori permette di considerarlo meglio. Si tratta di un'area di memoria riservata al sistema (o all'utente) per una memorizzazione temporanea di dati con modalità LIFO (n.d.T.: *last-in-first-out*). La progettazione attuale prevede che vi sia un registro puntatore allo stack capace di memorizzare la prossima area disponibile in uno stack esterno di tipo push-down/pull-up; in questo modo si permette la memorizzazione ed il ritrovamento dei dati in un ordine sequenziale noto senza preoccuparsi degli specifici indirizzi di memoria (codifica rientrante).

Dal punto di vista della progettazione lo stack è sempre realizzato con memoria

RAM: è proprio la *pagina numero 1* della memoria ed opera come un buffer di memorizzazione LIFO. Ad ogni operazione di scrittura il puntatore si decrementa; si incrementa invece ad ogni operazione di lettura. Lo stack è usato automaticamente per:

- l'indirizzamento di rientro (2 byte),
- per il richiamo a sottoroutine,
- l'indirizzamento di rientro (2 byte) per servire gli interrupt,
- lo stato di registro (1 byte) sempre per servire gli interrupt.

Lo stack può inoltre essere usato per salvare il contenuto di accumulatori o registri – indice prima dell'esecuzione di interrupt o di sottoroutine, per il trasferimento di valori del programma principale alle sottoroutine. Bisogna ovviamente porre molta attenzione per evitare che la memoria di stack non superi il numero di byte messo a disposizione.

Queste capacità sono necessarie non solamente per far fronte al consueto modo di operare, ma anche, se non soprattutto, per sostenere i futuri sviluppi dei microprocessori che si richiederanno quando le maggiori società acquisteranno microcomputer per i propri specialisti addirittura a centinaia di migliaia; e saranno decine i sistemi ridondati tenuti pronti a sostituire quelli guasti o comunque ad intervenire nel caso di malfunzionamento o di carichi eccezionali. Vi saranno microprocessori più potenti, capacità di comunicazione, grande disponibilità di software applicativo (molto del quale portabile) per un gran numero di settori ed attività.

I microprocessori offriranno soluzioni ad alta funzionalità, molto competitive ed interessanti, nel campo delle reti. Quando si parla di sistemi d'informazione distribuiti non è necessariamente il mini-computer che offrirà all'utente le prospettive migliori. Sempre più spesso sarà il microcomputer; perchè però ciò si possa affermare devono essere previste e supportate determinate funzioni logiche e fisiche.

Un esempio molto preciso è costituito dalla parte software dell'interfacciamento nei microcomputer. È diverso dalla situazione che si incontra nei grandi sistemi: il sistema operativo dei microcomputer è disegnato in modo tale che è relativamente facile aggiungere *device drivers* (le routine di O.S. che operano con le interfacce verso le varie periferiche) per apparecchiature di altra fabbricazione; inoltre i fornitori mettono spesso a disposizione informazioni che descrivono come possono essere aggiunti al sistema operativo speciali *interface driver.*

Inoltre la tendenza nel campo delle periferie è verso apparecchiature più intelligenti che possono, via hardware, fornire alcune delle funzioni tradizionalmente assegnate al sistema operativo. Un valido esempio di periferica intelligente è dato dal DCM – Data Communication Multiplexer. È in grado di gestire connessioni multiple di comunicazioni tra il computer e le apparecchiature esterne, utilizzando trasferimenti tra le memorie e le linee di comunicazione.

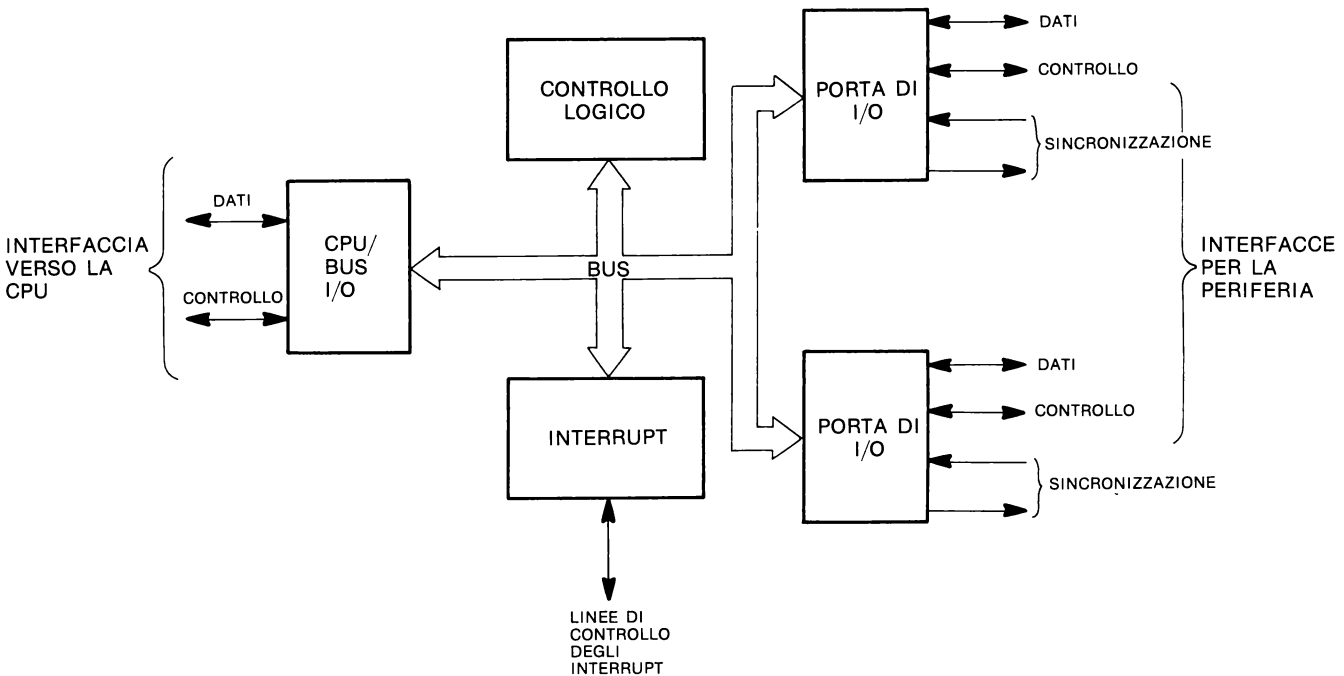


Figura 9.4 — sezione dell'I/O e della parte destinata al trasferimento dati di un *microprocessore; struttura della porta; data* e *control bus;* connessioni e bus interni.

Il DCM usa tavole che descrivono ogni linea di comunicazione e che curano le aree di memoria in modo tale che i trasferimenti possono avvenire con un intervento minimo da parte del software. Il sistema operativo inizializza ogni linea trasferendo la tavola d'informazione e le istruzioni al DCM e non è quindi interessato fino al completamento delle operazioni di trasferimento.

Solitamente le istruzioni riflettono particolari aspetti della progettazione come: le condizioni di fine trasferimento (specificando la lunghezza del messaggio oppure operando con un carattere di fine messaggio); la collocazione e la lunghezza dei buffer di memoria; particolari caratteristiche delle comunicazioni come la parità, la velocità e la lunghezza del carattere. Tali istruzioni solitamente riguardano le condizioni operazionali generali, compreso:

- il movimento dei dati,
- funzioni logiche ed aritmetiche associate ad attività di trasferimento,
- shift e rotazione,
- salto condizionato e non,
- informazioni di stato,
- operazioni con lo stack.

Tutte queste operazioni richiedono indirizzamento della memoria, l'uso dei registri su un chip, richiedono capacità di gestione degli interrupt, routine di servizio ed un adeguato insieme di istruzioni; molto probabilmente poi richiederanno altre funzioni a seconda delle necessità applicative. La Figura 9.4 illustra la sezione di I/O e di trasferimento di dati di un microprocessore (Mostek 280) collocato tra la CPU e le interfacce per le periferiche, inoltre è considerata la struttura della porta di input/output, i *data e control bus*, esterni in questo caso, l'handshaking, e l'*internal bus*.

5. FUTURI SVILUPPI NELL'INTERFACCIAMENTO

Dal momento che la funzione principale dell'interfaccia è di supportare le apparecchiature collegate alla CPU, il progettatore ha la legittima preoccupazione di stare molto attento agli sviluppi futuri in modo da assicurarsi che, tra i prevedibili, non ve ne saranno tali da sconvolgere gli equilibri assunti. Quale degli sviluppi futuri merita di essere considerato e previsto allo stato attuale dell'arte?

L'I/O semianalogico su un chip per applicazioni speciali è uno di questi casi: la Figura 9.5 presenta un semplice processo controllato da un microprocessore; lo si può pensare esteso a mini-DIS (distributed information system) riferendosi a tutta la parte digitale delle macchine più grandi (Figura 9.6). I microprocessori orientati a determinate applicazioni, come il controllo, i motori e la telefonia (linee intelligenti, multifunzionalità) costituiscono altri esempi.

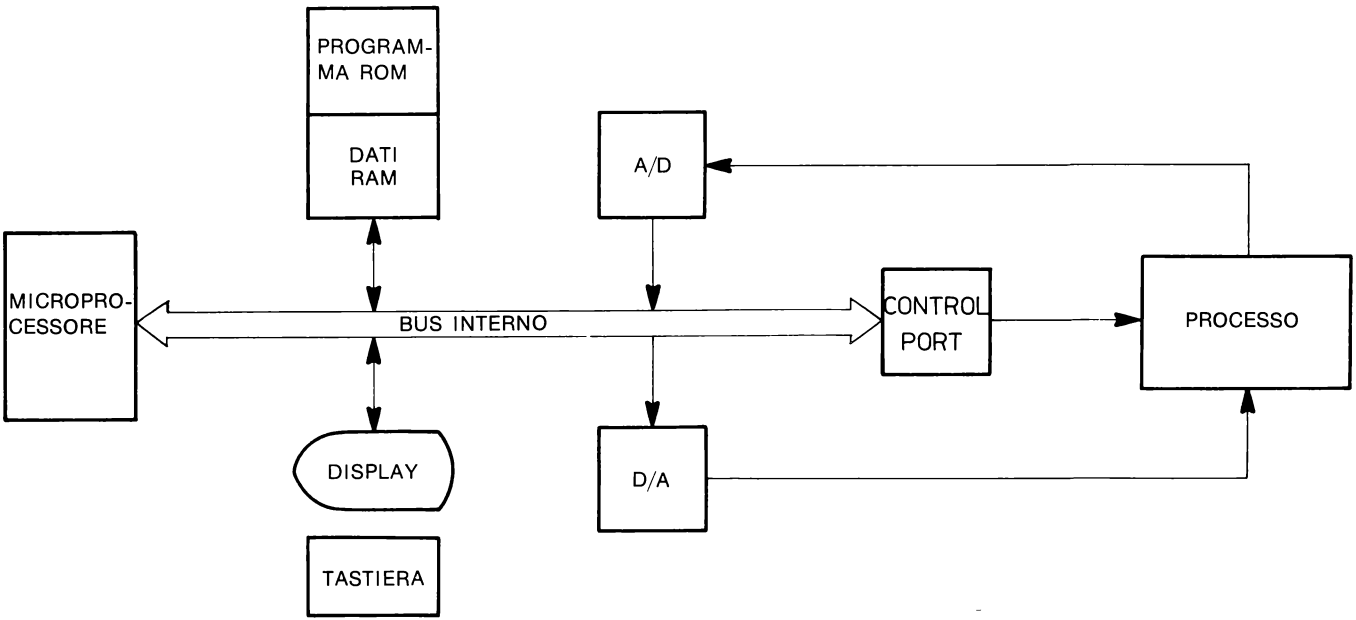


Figura 9.5 — semplice organizzazione di controllo di un microprocessore, incluse le interfacce di conversione tra segnali analogici e digitali e viceversa.

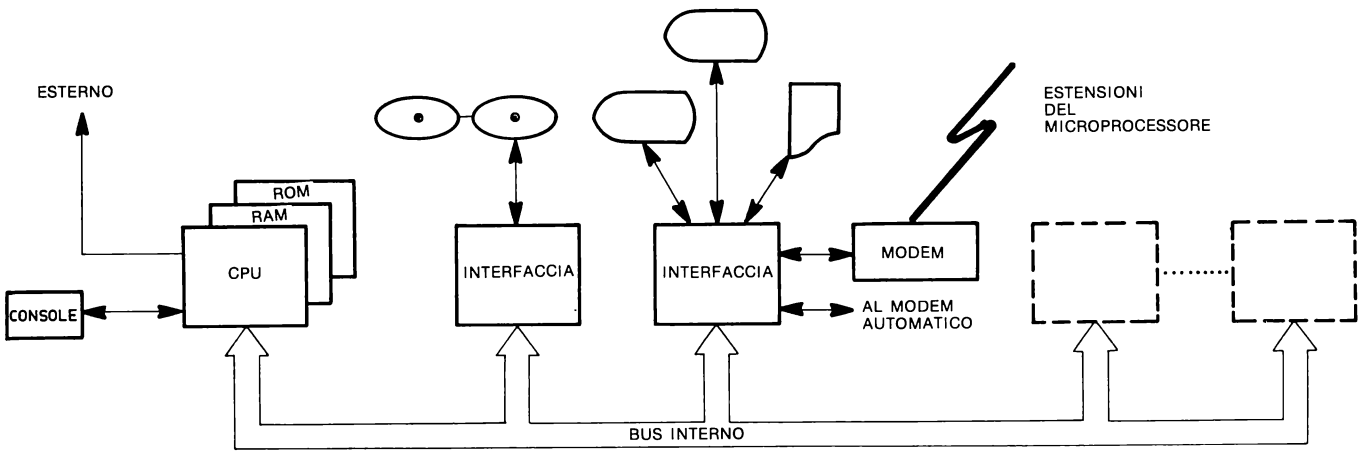


Figura 9.6 — struttura più complessa tendente a raggiungere le capacità di un microcomputer; essa comprende sullo stesso bus: interfacce interne ed esterne; CPU; RAM; ROM; possibilità di gestire dischi; viodeoterminali; hardcopy, modem ed un'estensione composta da un altro microprocessore.

Tra tutte le importanti domande che ancora richiedono una risposta vi è senz'altro la seguente: la corrente definizione di microprocessore, derivata dal computer, manterrà la propria validità? Fra quanto tempo le reti programmabili di microcomputer svolgeranno le funzioni dei sistemi di computer ben più grandi? Fino a che punto questo sarà vero? Il concetto di Von Newmann è valido anche per progettare microprocessori? Abbiamo veramente bisogno della struttura che questo tipo di approccio ci suggerisce?

La risposta a queste domande coinvolge il più generale problema dell'architettura, la filosofia di progettazione di base e gli obiettivi, i limiti e le alternative che si presentano con i microprocessori, e ovviamente l'irrinunciabile necessità di ottenere risultati quantitativi e qualitativi: infatti la prova finale per ogni sistema sta nella sua utilità. Sono dieci i fattori che influenzano la risposta a questa domanda: "Che cosa può offrire il microprocessore?"

Primo, la risposta dipende dalla gran quantità di apparecchiature esistenti ed a cui ci siamo riferiti: una maggiore efficienza, una maggior complessità, un miglior impaccamento ed un maggior numero di registri sono una funzione del tempo. Inoltre è sempre possibile che in una qualsiasi epoca dello sviluppo tecnologico i microprocessori standard non siano in grado di offrire le caratteristiche desiderate da un utente e questo anche in conseguenza del fatto che le richieste e le pretese sono sempre in aumento. Ad esempio, la realizzazione del *floating point* è difficoltosa alle attuali condizioni della tecnologia.

Secondo, si può ottenere un aumento di efficienza andando verso un'architettura completamente nuova piuttosto che estendere e migliorare le possibilità dell'attuale. Non sono però sempre chiari i vantaggi economici ottenibili nè il rapporto costo prestazione; inoltre cambiamenti radicali possono invalidare grossi investimenti già fatti. Le limitazioni di compatibilità non sono i soli temi che intervengono in tali decisioni; anche i cambiamenti nel disegno a livello hardware hanno implicazioni software: i nuovi microprocessori possono avere difetti che non c'erano nei vecchi programmi, oppure alcune delle caratteristiche marginali delle precedenti apparecchiature possono anche peggiorare.

Terzo, l'evoluzione della tecnologia ha un grande impatto; un modo flessibile di operare consiste nell'offrire un insieme di istruzioni interne che hanno un differente livello di implementazione anche se i cambiamenti di disegno sono spesso radicali. Cambiare dai chip a 4 KB a quelli a 16 KB porta all'eliminazione del bus relativo ai 4 × 4, lo stesso vale per il cambiamento dei chip a 16 KB a quelli a 64 KB.

Quarto, deve inoltre essere studiato di per se stesso l'impatto del *costo finale* dei continui avanzamenti tecnologici. I chip saranno venduti se non proprio nell'ordine delle decine di lire senz'altro per poche migliaia; pur rimanendo a bassi livelli di costo la complessità avrà influenza sui prezzi e ciò anche se rimarrà un mercato per le apparecchiature più semplici.

Quinto, l'architettura gioca un ruolo fondamentale; essa non dovrebbe essere confusa con il progetto del chip in quanto essa è rivolta soprattutto a cercare risposte a queste domande: come sono trattati i dati nel chip? come dovremmo farlo? quali funzioni dovrebbero essere incluse? Progettare un'architettura solleva molte domande sul rapporto prezzo/prestazione e spesso richiede di partire dai vecchi, consolidati concetti del passato e di abbandonarli.

Sesto, nuove modalità architetturali saranno influenzate dalle necessità imposte dal DIS, che si manifesteranno nelle applicazioni distribuite e nelle reti. Vi sarà un'esplosione di interesse a più livelli: utenza finale, tecniche di data base, reti, comunicazioni ed apparecchiature periferiche. Con ogni probabilità il livello che riguarda l'utenza finale sarà il più esposto a cambiamenti radicali, in quanto la ricerca è decisamente orientata a soluzioni *user-friendly* che richiedono una formazione minima e facili interventi di manutenzione e riparazione.

Settimo, i sistemi di rete locale (interni) in grado di integrare dati, voce ed immagini all'interno delle aziende, degli uffici e negli stabili residenziali avranno una grossa influenza sia sulla tecnologia dei microprocessori che sul modo di progettarli. Ambienti che prevedono la distribuzione interna usando principi di comunicazione dei dati possono diventare sempre più frequenti e basarsi sull'utilizzo non solo dei micro ma anche dei nano- e pico-processori. Come risultato saranno dischiuse nuove prospettive applicative mentre la nuova generazione di produttori ampieranno le applicazioni dei nano e picoprocesori alle industrie più classiche.

Ottavo, aumentare l'efficienza dell'I/O avrà grosse conseguenze sull'architettura; questo può essere visto come un problema di network interno e conduce alla "prossima generazione di computer" orientati alla periferia piuttosto che alla CPU. Le periferie potrebbero arrivare ad occupare il 70% dell'intero valore del mercato. In questo senso i nano processori orientati all'I/O saranno introdotti per sobbarcarsi di molti dei dettagli che oggi gestisce la micro CPU (soluzione tipo IBM 34 e S/1). Questa è una buona ragione per mantenere il bus di I/O separato dal *memory bus.*

Nono, come discuteremo nei capitoli seguenti anche i linguaggi di programazione avranno un notevole impatto sull'architettura. Il progettatore parte con un semplice linguaggio a livello macchina per il microprocessore ed allora l'utente vuole il Basic; il progettatore fornisce il Basic ed allora l'utente vuole il Cobol e il Fortran. Inoltre altri linguaggi esistenti (Pascal incluso) non sono orientati al problema del microprocessore. Al momento non vi sono sforzi verso un linguaggio universale per le microapparecchiature. In ogni caso il problema del linguaggio rimane; così come quello del sistema operativo che si rivela sempre più da quando aumentano continuamente i microprocessori che sostituiscono i mini.

Decimo, vi sono poi tutte le prospettive di cambiamento del mercato. Da quando i microcomputer sono penetrati in nuovi mercati, essi hanno trovato la loro vera base di crescita e di espansione verso nuove applicazioni. Quando è partita la loro produzione non si sapeva neppure in quale mercato sarebbero andati a finire. Quello che conta è, come sempre, la risposta del mercato.

CAPITOLO 10

FIRMWARE E MICROCODICE

1 – INTRODUZIONE

Lo sviluppo del firmware è un intreccio di hardware e software. Maurice Wilkes è stato il primo a scrivere nel 1951 un lavoro sul microcodice; 7 anni dopo, nel 1958, l'IBM introdusse il modello 1620 che prevedeva l'utilizzo di una tavola invece dell'unità aritmetica hardware; queste sono le prime referenze conosciute in merito.

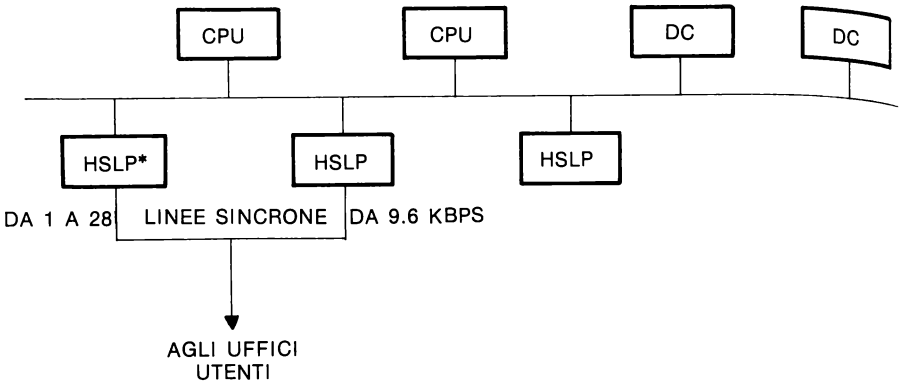
Alla fine degli anni 60 i motivi reali che stavano alla base dello sviluppo del firmware stavano nella volontà di intersecare le caratteristiche dell'hardware e del software. Dieci anni più tardi, alla fine degli anni 70, l'utilizzo del firmware avanzò grazie alla diffusione dei microprocessori: si presentò la possibilità di intervenire, come vedremo, sia verticalmente che orizzontalmente per emulare altre macchine, per permettere la portabilità dei programmi e per rendere il sistema più flessibile. Dietro allo sforzo tendente a mescolare le soluzioni hardware e software sta il fatto che:

- l'hardware è un mezzo intrinsecamente semplice e veloce, anche se l'hardware dei computer appare complesso agli utenti;
- una "macchina software" è meno veloce, più complessa e più soggetta ai cambiamenti; anche se essa appare più semplice all'utente per il modo con cui interagisce con l'ambiente.

Il problema con la "macchina software" è che è esposta ai ben noti problemi ed errori; è anche più difficile da provare e da sottoporre a manutenzione; il che comporta che si sia stufi di programmi che non operano o operano male e quindi si desideri andare verso soluzioni firmware.

Una delle più grosse spinte in questa direzione sarà la possibilità di vendere al dettaglio il firmware in piccoli contenitori che potranno essere inseriti in un'altra macchina. Si è così avuto il "Solid State Software" nei calcolatori, nelle apparecchiature tipo "Speak and Spell": presto ci sarà il giorno in cui entrerà nei computer domestici e da ufficio. I computer tascabili richiederanno del tutto similmente un approccio basato sul "Solid Software/Firmware".

Portare l'elaborazione localmente, dove il lavoro viene fatto, è molto più convincente con la tecnologia a basso costo dei semiconduttori se abbiamo apprezzabili sviluppi nel campo delle comunicazioni come i *data transfer* intelligenti con capacità di *store and forward,* gestioni di testi-dati-voce e rilevamento/correzione degli errori. La Figura 10.1 mostra un nodo di backup nella struttura della Northern Telecom: unitamente alle apparecchiature basate sui microprocessori e servite da "Solid State Software", questa soluzione ed altre similari possono diventare modelli basilari nella costruzione di reti locali e di reti in genere.



* HIGH SPEED LINE PROCESSOR

Figura 10.1 — un nodo di backup secondo la struttura della Northern Telecom. Le apparecchiature con i microprocessori sono completate da un opportuno software.

2 — MICROPROGRAMMAZIONE

La microprogrammazione permette di ottenere una riduzione del tempo necessario al sistema per le operazioni logiche ed aritmetiche. La parte di controllo di un processore non microprogrammato contiene contatori, speciali "flip-flop" e strutture di decodifica. Con la microprogrammazione una regolare organizzazione di memoria sostituisce gran parte di ciò con il risultato che l'architettura è meglio strutturata, esistono meno alternative per realizzare funzioni e si possono eliminare vari *gate* speciali.

Anche se il costo di un microprocessore con la microprogrammazione può risultare maggiore di quello di un sistema comparabile che utilizza l'hardware convenzionale, è anche vero che un aumento di complessità nella soluzione microprogrammata non è così costosa come invece accade con le soluzioni tradizionali. In altri termini, mentre per le soluzioni di architettura relativamente semplice i sistemi con-

venzionali sono più convenienti, per i sistemi più complicati la microprogrammazione diventa più interessante, in gran parte, proprio per le economie possibili.

Vi sono inoltre altri vantaggi che depongono in favore delle soluzioni basate sul "Solid State Software". Ad esempio, i microprocessori microprogrammati sono utilizzati per funzioni di diagnostica. Gran parte delle apparecchiature possono essere controllate e gli stati rilevati possono essere esaminati in relazione a condizioni microprogrammate che non potrebbero essere verificate dai programmi scritti col linguaggio della macchina. Inoltre cambiamenti per correggere errori di logica possono essere fatti più facilmente alternando le istruzioni microprogrammate.

Il principio base è che il firmware emula "la macchina Software" e si tratta in realtà di una possibilità impressionante. Per quanto riguarda le funzioni di ordine inferiore, e cioè semplici istruzioni o codici, caratteristiche hardware non complesse (come registri, operazioni ALU), l'attività di emulazione rientra nel cosiddetto *firmware verticale.* Si tratta di una delle versioni più interessanti di "Solid State" per supportare la portabilità di programmi che le aziende hanno realizzato in tutti questi anni costituendo grandi librerie di Software.

La Figura 10.2 presenta una modalità di emulazione. L'utente "vede" la macchina emulatrice e non ha necessariamente a che fare con il processore originale; dovrebbe però rendersi conto in ogni caso di come l'emulatore opera.

Questo approccio è stato utilizzato con notevole successo alla fine degli anni 50 e negli anni 60 con strumenti software; l'emulazione per mezzo di programmi memorizzati rallenta però la macchina in modo consistente: molto spesso il rapporto è 1 a 10 ed anche l'emulatore software più efficiente mai scritto (il PRINT dell'IBM che negli anni 50 permetteva di vedere il modello 704 come una macchina commerciale) presentava un rapporto di 1 a 2. L'emulazione con i microprocessori non presenta però queste serie diminuzioni di efficienza.

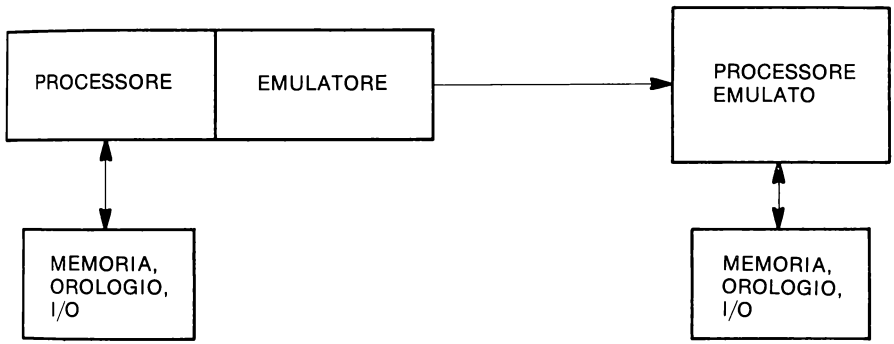


Figura 10.2 — una modalità operazionale in emulazione; lo sperimentatore può osservare l'apparecchiatura emulata senza avere necessariamente a che fare con i processori originali.

Trattando un esempio di funzionalità *lower end* ipotizziamo che l'hardware di una macchina permetta operazioni di inversione e di addizione: possiamo emulare attraverso software le operazioni di moltiplicazione e di sottrazione. Se l'hardware della macchina permette che tutte le operazioni avvengano con base binaria possiamo emulare via firmware operazioni decimali o esadecimali. Avendo una macchina che sa compiere solamente operazioni elementari ipotizziamo di volerla utilizzare per svolgere funzionalità complesse: attraverso una soluzione matriciale programmata, usando svariate operazioni elementari, otteniamo una macchina più lenta dell'originale ma capace di svolgere le funzioni più complesse.

Tutti questi sono esempi di *firmware verticale*. Nel caso di *firmware orizzontali* distinguiamo tra macchina *interna ed esterna*. La macchina *interna* ha delle macroistruzioni ed è molto semplice. La macchina *esterna* opera su queste microistruzioni attraverso un microprogramma realizzato su un microprocessore (Figura 10.3). In quest'ultimo caso non vengono emulate le caratteristiche dell'hardware; e questo dà

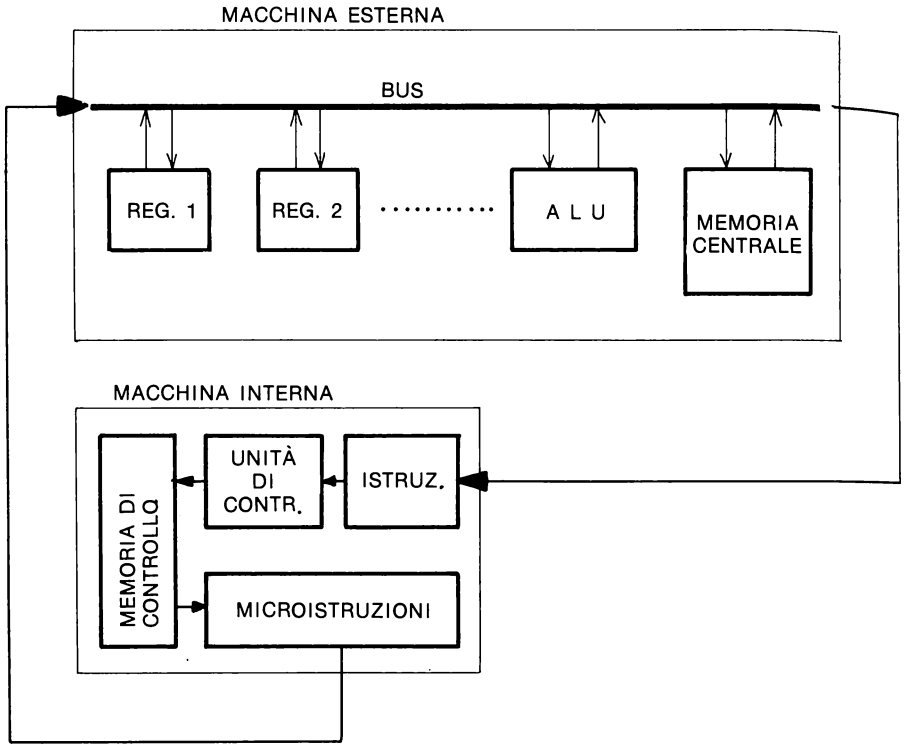


Figura 10.3 — un esempio di firmware orizzontale. La macchina interna ha delle microistruzioni ed è molto semplice. La macchina esterna opera su queste microistruzioni attraverso un microprogramma operante su microprocessore.

una grande libertà di scelta: cambiando il microprocessore ed i microprogrammi possiamo alterare radicalmente la macchina esterna matenendo invariata quella interna.

Le istruzioni della macchina interna sono attivate con le previste microistruzioni. Le istruzioni risultanti sono quelle della macchina esterna che, a loro volta, possono aiutare a realizzare una struttura interna distribuita. Inoltre, riferendoci alla struttura a bus, grazie ad una maggiore efficienza il microcodice permette un indirizzamento a livello bit.

È evidente che il basso costo di realizzazione delle soluzioni verticali e orizzontali ha creato propensione ad un maggior utilizzo delle possibilità disponibili. Sono molti i produttori che mantengono le istruzioni più frequenti ad un livello bit di esecuzione, procedendo poi con il metodo della microcodifica. In generale sono questi i vantaggi sui quali va posta la massima attenzione:

1. La macchina interna è molto semplice,
2. il microprogramma aiuta a costruire la macchina esterna,
3. la semplicità della macchina permette una maggior affidabilità,
4. grazie alla possibilità di cambiare il microcodice possiamo realizzare differenti tipi di apparecchiature ed avere così grande flessibilità,
5. è permessa la continuità di sviluppi ed inoltre
6. è assicurata la facilità di cambiare il microcodice e così confondere la concorrenza, con un chiaro valore strategico,
7. la possibilità di realizzare cambiamenti modulari è rinforzata sia in termini tecnici che dal punto di vista strutturale usando il microcodice per l'interfacciamento,
8. infine l'insieme di istruzioni può essere considerato *invariante.*

Questo in particolare favorisce la portabilità del software. Per esempio tra la tecnologia del 1964 (IBM 360) e quella del 1979 (IBM 4300) molti sono stati i cambiamenti; tuttavia l'insieme di istruzioni di entrambe le macchine è rimasto fondamentalmente lo stesso. Oltre alla compatibilità tra i programmi che è uno tra i maggiori vantaggi, fin dove può interessare al programmatore, appare la macchina esterna; la macchina interna è riservata al progettatore di moduli di microprogrammi.

3 – UNA SFIDA AL SOFTWARE

Attraverso il firmware il progettatore ha a sua disposizione eccellenti possibilità di migliorare le funzioni standard e di completarle prevedendo operazioni di "restore" e di protezione. Questo può anche essere fatto con il software ma, come si è stabilito a parità di funzioni, la macchina risultante è più lenta anche se in entrambi i casi il programmatore non è coinvolto nella realizzazione. Le soluzioni software hanno grande influenza sul tempo di elaborazione e sulla efficienza (Figura 10.4).

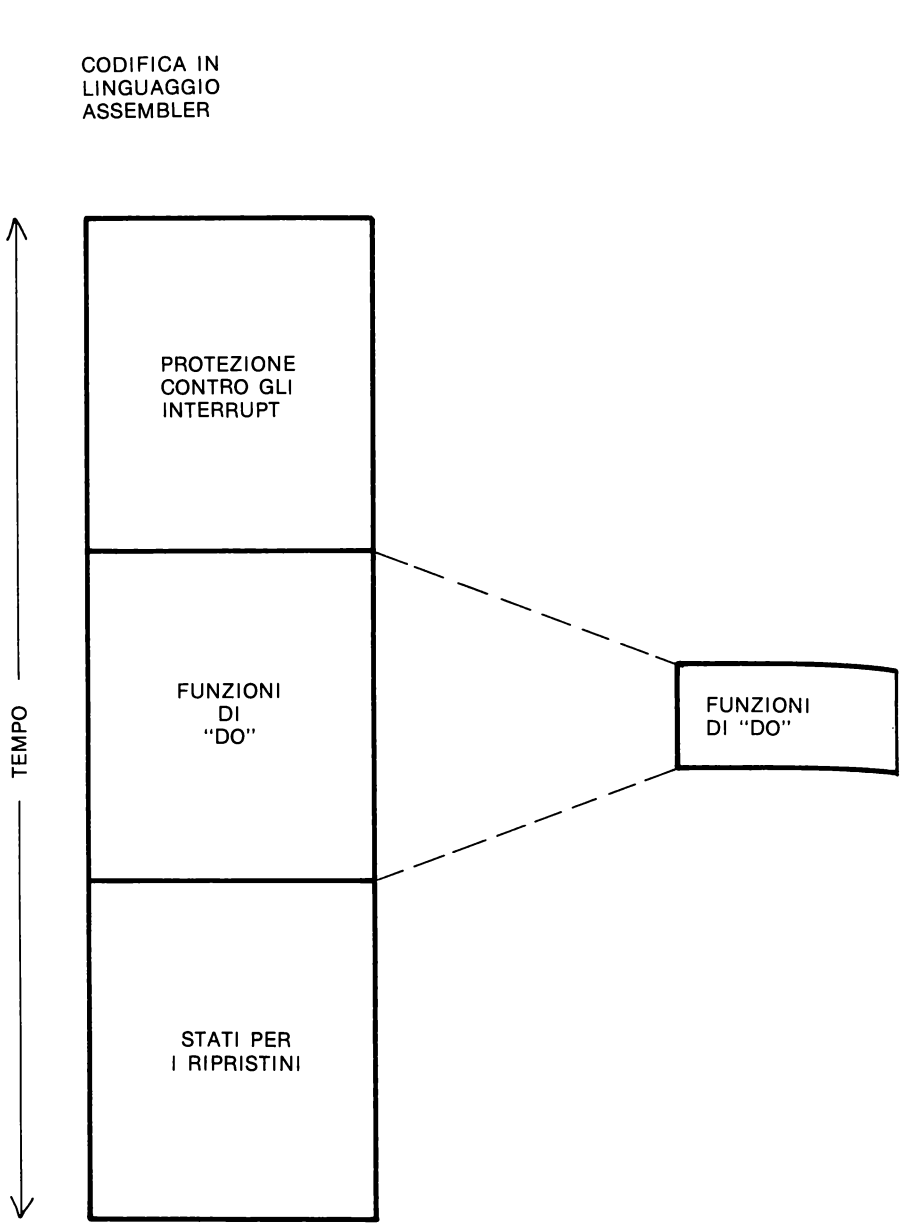


Figura 10.4 — la potenziale efficienza permessa con il microcodice. Le soluzioni software hanno notevoli conseguenze sul tempo di elaborazione e sull'efficienza.

Un benchmark con l'esecuzione in memoria virtuale multipla sia con microcodice che con software ha dato i seguenti risultati che servono a due scopi: dimostrare la maggior efficienza della soluzione firmware ed eliminare i dubbi sull'efficienza finale dovuta ai MIPS a disposizione.

Con microcodice	**Con software**
1 istruzione	56 istruzione
70 cicli	332 cicli
70 cicli per istruzione	6 cicli per istruzione

I MIPS a disposizione erano maggiori nella soluzione "software"; tuttavia l'efficienza è maggiore nella soluzione a "microcodice". Come regola devono essere microcodificate quelle istruzioni che hanno il più alto "prodotto" di cicli risparmiati per il tempo di ripetizione per secondo.

Funzione	**Cicli risparmiati**	**Ripetizione per secondo**	**Prodotto**
X	25	40	1000
Y	50	5	250

Ricapitolando: la capacità di microprogrammazione tocca realmente il tallone d'Achille dell'industria dei computer e cioè il *software*. Essa fornisce i mezzi necessari affinchè la progettazione software e la pratica di programmazione possano cambiare per alcuni aspetti all'insegna di una conversione tendente alla riduzione del costo per istruzione. Grazie alle funzioni microcodificate che finora hanno solo rasentato il mondo del software. Questo è valido particolarmente per una quantità di macroistruzioni (*utilities* come trasferimento dati, I/O, ecc.); per compilatori di linguaggi e per le operazioni primitive dei sistemi operativi.

Il software potrebbe essere riservato a quei tipi di trattamento dei dati, di memorizzazione e di trasferimento che cambiano abbastanza frequentemente nella vita del prodotto: il principale impatto della tecnologia VLSI sul software si manifesterà con la possibilità di sostituire quelle funzioni che cambiano molto raramente o sono addirittura immutabili.

Altre importanti conseguenze si avranno sul disegno del software; il disegno di un sistema operativo (OS), ed in generale del software di base, si basa su due fondamentali considerazioni: le capacità funzionali e l'equilibrio che deve essere trovato tra due vincoli opposti e cioè la velocità di esecuzione e lo spazio disponibile. Questo vale particolarmente dal momento che il progetto del sistema operativo deve considerare la capacità di carico imposta al sistema (Figura 10.5) e le funzioni realizzate con microprocessori che sono in diretto rapporto con la possibilità di eseguire rapidamente le istruzioni.

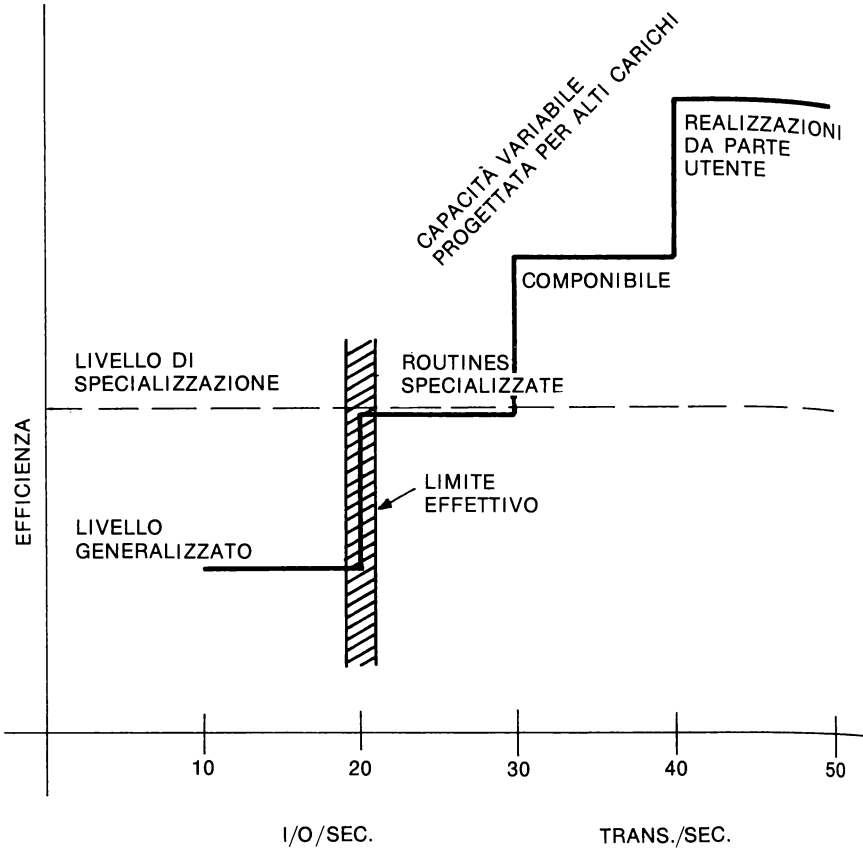


Figura 10.5 — la struttura del sistema operativo deve considerare il carico di lavoro che verrà imposto al sistema. È opportuna una distinzione tra i sistemi operativi progettati per carichi generici e quelli progettati per elevati carichi.

È stato osservato che l'*overhead* che si manifesta nell'attività di supervisione di un sistema operativo non cresce linearmente con la potenza del computer ma in modo esponenziale. Se aumentiamo la potenza del processor di un po' non otterremo un proporzionale aumento di *throughput;* molto probabilmente otterremo, in termini di *throughput,* la radice quadrata dell'aumento di potenza del processore. Se in un caso i vantaggi riguardanti il rapporto prezzo/prestazione dell'unità più potente tendono a sparire inghiottiti nell'*overhead* del software, la conversione di questo software in firmware restituisce parte della potenza perduta ed i microcomputer sono particolarmente adatti per trarre beneficio da questa conversione.

Sia che si usino micro, mini o maxi abbiamo certamente bisogno di funzionalità di supervisione per "multiplexare" le risorse di sistema allo scopo di soddisfare le richieste concorrenziali delle varie attività. L'obbiettivo dunque è quello di minimizzare le risorse consumate dall'attività di supervisione, grazie alle innovazioni tecnologiche che i microprocessori rendono possibili.

Vi furono tempi in cui i computer *general purpose* erano composti di poco più di un processore, di un canale, di un controllore di comunicazioni locali e di alcune periferiche. Ecco che dunque il software divenne una necessità: dal 1964 al 1973 i computer *general purpose* avevano un sistema operativo la cui principale funzione consisteva nel controllo dell'I/O, nella gestione di file di dati memorizzati e la gestione di più attività di elaborazione batch.

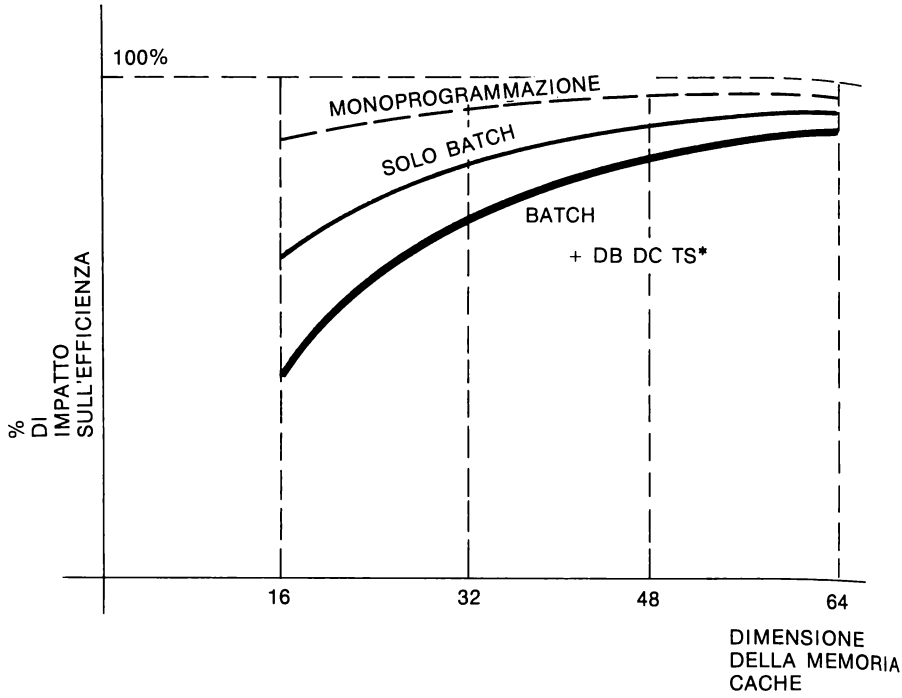
Programmi separati fornirono il *timesharing* e le attività di monitoraggio; a partire però dal 1974 i produttori proposero sistemi operativi che incorporavano la capacità di gestire contemporaneamente ed in modo integrato elaborazioni batch, elaborazioni transazionali e timesharing abilitando i programmi ad operare in questi due modi:

- con un singolo integrato database,
- con un programma di data management,

che in molti casi è diventato il centro dei sistemi di computer general purpose. Nello stesso momento in cui le prospettive di mercato cambiarono radicalmente, apparvero nuove modalità architetturali tendenti ad accelerare le operazioni di sistema. Questo è il caso delle *cache memory* (Figura 10.6) che furono dapprima introdotte nei mainframe e passarono dopo alle periferie (controllori di disco intelligenti con cache, logic over data).

La progettazione basata sui microprocessori permette una distribuzione di funzioni intelligenti nel sistema di computer e rende disponibile al progettatore la possibilità di supportare localmente capacità che nel passato dovevano essere ricondotte alla memoria centrale. Nel corso di pochi anni abbiamo osservato una duplice tendenza: verso la distribuzione di funzioni per realizzare alcune delle tre facoltà cosiddette con la "M" maiuscola (Multiaccessibilità, Multiprogrammazione, Multicomputing), realizzate basandosi su intelligenza propria; e verso lo sviluppo di microprocessori *standalone* capaci di essere collegati l'uno all'altro attraverso funzioni di comunicazione. Nello stesso tempo la microprogrammazione sta cambiando anche il nostro modo di concepire e considerare la macchina.

Il modo con cui dovremmo confrontarci con le prossime grandi novità introdotte dai sistemi di microcomputer trova dei precedenti nel periodo che va dai primi anni 60 ai primi anni 70. Può essere una coincidenza ma i microcomputer apparvero approssimativamente nello stesso tempo in cui apparvero i sistemi operativi general purpose per i mainframe; in questo modo potremmo vedere il sistema operativo piuttosto che l'hardware dei microcomputer come il fattore che ha reso più competitiva la nuova generazione di macchine con quelle del passato. Il firmware e il software allo stato solido stanno giocando, 10 anni dopo, un ruolo del tutto simile al destino dei microcomputer.



* DB = DATA BASE
DC = DATA COMMUNICATION
TS = TIME-SHARING

Figura 10.6 — le memorie CACHE hanno avuto notevoli conseguenze sull'efficienza delle macchine. Dal momento che esse operano sull'attesa di dati, contenuti in un certo blocco di memoria da parte della CPU, l'efficienza da loro indotta aumenta con la loro dimensione. Le conseguenze sono ancora più grandi in un ambiente complesso che prevede attività di databasing (DB), datacomm. (DC), timesharing (TS) e batch.

In conclusione si può dire che potremmo realizzare "hardware" le funzioni più elementari e realizzare invece in microcodice quelle che sono ripetitive e assolutamente definite. Il software deve essere riservato per le funzioni che non sono ripetitive, instabili, nuove o in evoluzione. Se il nostro scopo è quello di convertire il sistema operativo in funzioni supportate da microprocessori, allora tutte le operazioni che sono altamente ripetitive devono essere realizzate con la microprogrammazione; ad esempio, il primo livello di gestione di *interrupt* che riceve gli interrupt e memorizza i registri, anche se quest'ultima parte è stata tradizionalmente realizzata via

software. Così il meccanismo di *paging*, l'interfacciamento tra i moduli ed altri elementi che aiutano il sistema operativo a rimanere padrone della situazione, sono altri validi esempi. Evidentemente tali scelte non sono influenzate solamente dalla tecnologia e da considerazioni di efficienza ma anche da valutazioni strategiche verso la concorrenza.

4 – PROGRAMMARE IL MICROCOMPUTER

Se può essere utile per realizzazioni orientate ai componenti e periferiche del computer, la microprogrammazione non risponde a tutte le caratteristiche necessarie alle istruzioni per gestire la macchina. I microprocessori devono essere completati con un valido linguaggio di sviluppo che avrà indubbiamente un impatto sull'hardware (dimensione della memoria, velocità di sistema). A questo riguardo devono essere compiute scelte basilari: linguaggi ad alto livello permettono uno sviluppo più veloce ma richiedono maggiore memoria; linguaggi a livello assembler richiedono tempi più lunghi per lo sviluppo di applicazioni ma permettono un uso migliore della memoria disponibile.

L'assemblatore può essere residente su un computer esterno (*cross-compiling*): il suo fine è di tradurre codici di tipo mnemonico in linguaggio macchina; allocare la memoria; calcolare gli indirizzi assoluti e rilocabili (relativi) partendo da indirizzi simbolici; inserire routine prese dalla libreria software e trattare codice simbolico come macro istruzioni. Operando con linguaggi ad alto livello si può sviluppare applicazioni molto più velocemente che operando con un linguaggio assembler (ciò vale fino dove conta il tempo che impiega il programmatore); si assicura un certo livello di indipendenza dalla macchina; è più facile da imparare; conduce di per se stesso alla programmazione strutturata. Tra i linguaggi ad alto livello disponibili con i microprocessori possiamo distinguere: il Basic, il Fortran, il PL/M della Intel, il Pascal, l'APL ed altri.

Partendo dal livello più elementare di un linguaggio per computer che deve essere realizzato su un microprocessore, possiamo distinguere:

- *linguaggi a livello macchina,* per cui il computer è programmato direttamente in modo binario. Ad esempio, un programma binario per un processore a 8-bit può essere:

```
11 001 001
10 110 001
10 001 001
01 100 100
00 000 000;
```

- con un *linguaggio assembler* ogni istruzione è rappresentata da codici simbolici:

```
ADD  R1, R0
STO  R1
JMP  100;
```

— un'istruzione di un *linguaggio ad alto livello* corrisponde a svariate istruzioni a livello macchina:

X = (Y * A) * * B.

I linguaggi ad alto livello sono convertiti da un compilatore (o interpretativo) in linguaggio macchina. Il compilatore traduce l'intero programma una volta per tutte e non è necessario che sia residente nel computer al momento dell'esecuzione. L'interpretativo invece "interpreta" le istruzioni una per volta (n.d.T.: *al momento dell'esecuzione ed è quindi residente contemporaneamente al programma*); è più lento e meno efficiente del compilatore ma è anche più facile da usarsi. La compilazione può essere eseguita sia su un *host-system* che su un *residente-system.*

Il *resident-system* produce un codice oggetto che opera sul proprio processore. Le prove sono fatte su tale processore, ma la messa a punto non è molto efficiente con risorse limitate. L'alternativa è di compilare su un *host-system,* producendo codice oggetto per un altro processore. Di solito si dispone di un simulatore per imitare il microprocessore (sull'host) allo scopo di provare i programmi. Le risorse di un capace *host* garantiscono operazioni più veloci e facilità d'utilizzo, ed il costo è in realtà il tempo d'utilizzo dell'*host-system.*

Un punto fermo da cui non si può scappare in alcun modo riguarda *la manutenzione.* Attualmente la manutenzione assorbe tra gli utenti di computer, tra il 70 e l'80 per cento delle risorse di programmazione (il che, ovviamente, è assurdo). Se ci si riferisce poi a quanto accade a casa dei costruttori, il problema non migliora dal momento che le attività di manutenzione sono ancora manuali.

La Figura 10.7 mette in evidenza il fatto che la percentuale di interventi di manutenzione aumenta di ordini di grandezza secondo due fattori: l'età del programma e le sue dimensioni.

Non solo dovremmo sforzarci di realizzare programmi di piccole dimensioni, ma anche convertibili, per quanto possibile, in firmware (Solid State Software).

L'attività di test costituisce uno di quegli argomenti ai quali dovrebbe essere dedicata la massima attenzione. Programmi *cross-computer* rendono possibile provare il codice oggetto quando il microcomputer non è disponibile o non può comunque eseguire il lavoro; forniscono indicazioni diagnostiche e segnalazioni di *overflow* dello *stack;* permettono inoltre di modificare e visualizzare memorizzazioni simulate e registri di CPU; permettono di seguire passo passo l'esecuzione del programma e cioè d'effettuare meglio l'attività di *debug.*

Qualunque sia l'approccio scelto vi è sempre comunque la necessità di un'attività finale di *debug;* la facoltà di seguirlo è realizzata da un programma residente (*monitor*) che permette la visualizzazione e la stampa di RAM, ROM e registri di CPU. Permette la modifica della memoria RAM facendo partire il programma da una specifi-

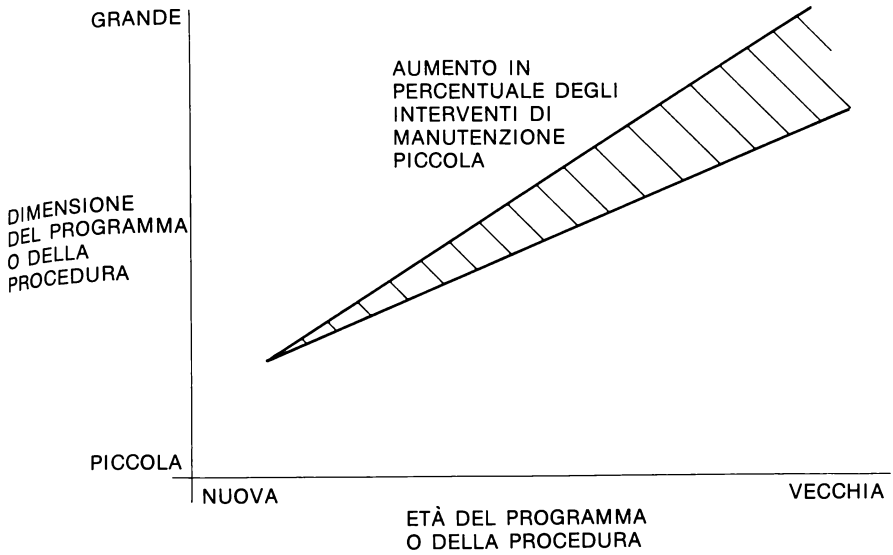


Figura 10.7 — la percentuale di software su cui si effettua manutenzione aumenta in funzione dell'età dei programmi e delle loro dimensioni.

ca locazione di memoria; permetterà poi d'interromperlo e bloccarlo ad una specifica locazione di memoria voluta; può poi assicurare con un'ottima funzionalità:

- il caricamento e la memorizzazione del programma (da disco o cassetta),
- la configurazione di I/O,
- la gestione degli interrupt hardware e software,
- la possibilità d'eseguire operazioni passo a passo.

Questo strumento software opera essenzialmente su codice macchina o oggetto ed è direttamente indirizzabile dai programmatori ai quali semplifica, accelera ed assiste il lavoro. L'approccio che stiamo seguendo con i microprocessori riflette quanto è stato realizzato per 30 anni con i più grandi computer; vi sono però anche considerevoli elementi di novità dal momento che i progettatori si sforzano di ottenere circuiti integrati ad alta densità che permetteranno loro di costruire processori più veloci e migliori di quelli dei sistemi tradizionali con cui sono in concorrenza. In questo senso la posizione che il microcodice occupa tra l'hardware e il software (Figura 10.8) è destinata a crescere in funzione del tempo.

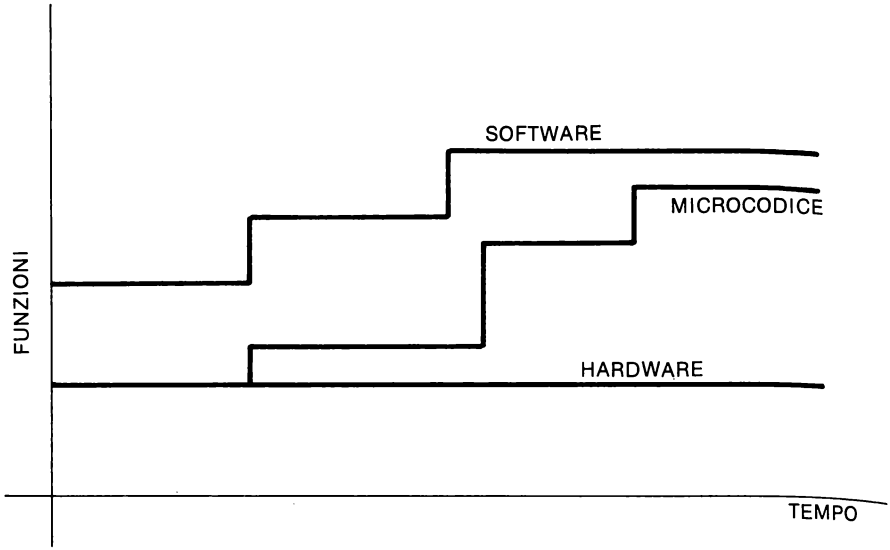


Figura 10.8 — per soddisfare le richieste dell'utente e per sviluppare le tecnologie per supportare le soluzioni, si arriverà sempre più a collocare il microcodice tra l'hardware e il software, in una posizione che aumenterà in funzione del tempo.

5 — LA PROSSIMA FRONTIERA NELLA MICROCODIFICA

I sempre più sofisticati strumenti di programmazione, sia per lo sviluppo di software di base che applicativo, unitamente ai microcomputer avranno, molto probabilmente, un notevole impatto sul *data processing,* sul *databasing* e sul *datacomm* quali gli specialisti hanno fino ad ora realizzato. I più noti microcomputer di oggi sono di origine DP (Data Processing). Il Datapoint 2200 è il capostipite di molti di loro, essendo il suo insieme di istruzioni equivalente ad uno dei microprocessori primitivi, l'Intel 8008; e questo anche se il 2200 esegue le istruzioni 10 volte più velocemente dell'8008.

Proprio perchè la CPU Datapoint ha attaccato validamente sul fronte del Data Processing e delle applicazioni WP (Word Processing), lo si dovrebbe interpretare come un valido segnale per le possibilità future dei microcomputer. Se ci si spinge ad esaminare il futuro di questa tendenza, si può dividere i microcomputer oggi disponibili in due grandi classi: quella che ha seguito il Datapoint 2200 ed è quindi orientata ad applicazioni DP e quella comprendente sistemi che sono stati disegnati specificatamente per utilizzo logico-digitale.

Le differenze principali tra queste due classi possono essere così sintetizzate; l'insieme di istruzioni per microcomputer orientati al DP è ovviamente adeguato alle

applicazioni DP. I microprocessori orientati ad una logica digitale tendono, d'altra parte, ad avere insiemi di istruzioni piuttosto primitive (orientate sia al DP che al WP) con l'assenza di svariate funzionalità-chiave. I micro orientati al DP possono essere facilmente estesi con varie apparecchiature di supporto per gestire periferie come video, unità disco e stampanti; i micro orientati a logica digitale hanno capacità di I/O che sono meglio utilizzabili per generare e trattare segnali logici.

Le principali differenze tra i micro tipici di queste due classi stanno nel disegno delle parti VLSI che costituiscono i microprocessori; la progettazione orientata al DP è molto probabilmente destinata a sostituire la fascia inferiore dei minicomputer; data però la loro tendenza a crescere e ad aumentare la capacità, essi saranno attaccati, nel loro campo precedente, dai *nanocomputer*. Si delineeranno nuovi approcci (e nuove strutture) nell'utilizzo finale (*end-user*) come entreranno in gioco i nanocomputer. Questi ultimi opereranno con interpretativi piuttosto che con compilatori; saranno dedicati a lavori elementari formando una struttura gerarchica di componenti tra loro intercorrelati.

Contemporaneamente, parti del sistema operativo (forse anche gran parte di esso) saranno scritte con il firmware, accelerando di molto il sistema ed alterando i concetti dell'utenza finale. Si svilupperà molto probabilmente una gerarchia di sistemi come illustrato in Tavola 10.1. Date queste premesse, qualunque sia la classe più bassa essa si troverà probabilmente mescolata con quella immediatamente superiore; a sua volta una classe ancora più bassa si inserirà per riempire il vuoto lasciato da questo movimento; tutto ciò non potrà non avere grandi conseguenze sul modo con cui consideriamo l'hardware, il firmware ed il software.

Tavola 10.1: Matrice esemplificativa per livelli di sistemi e caratteristiche

	MIPS	**Memoria centrale (in M byte)**	**Memoria esterna (in (in G byte)**	**Ordine di grandezza del prezzo (in migliaia di dollari)**
GIGA	10-50 (forse > 50)	64-250	20-50 o più	Da 2.000 a 8.000
MAXI	2-10	5-64	3-20	Da 400 a 2.000
MIDI	1-2	2-5	0,5-3	Da 100 a 400
MINI	0,5-1	0,5-2	150-500 M byte	Da 10 a 100
MICRO	0,1-0,5	0,12-0,5	5-150 M byte	Da 1 a 10
NANO	Fino a 0,1	< 0,12	Fino a 5 M byte	< 1

Dal 1990, nella fascia più alta della potenza dei computer, molti processori saranno degli *array-processor* (n.d.T.: *processor associativi*) con grandi capacità di gestione di database relazionali. In fondo alla scala di potenza dei computer, i nanocomputer saranno probabilmente prodotti con chip a 512 KB o anche a 1MB e prevederanno oltre al processor ed alla memoria centrale svariate altre capacità. Vi sarà un notevole numero di strumenti e capacità standard che si baseranno sui nanocomputer e queste si riveleranno nuove se confrontate con quelle attuali; si tratterà, ad esempio, di linguaggi funzionali e di strutture di *data flow.*

I *picocomputer* evolveranno come conseguenza della crescita indotta dalla tecnologia Josephson, anche se a tutt'oggi questa soluzione necessita troppo raffreddamento; sembra che l'IBM costruirà un'apparecchiatura-prototipo con tecnologia pre-Josephson. Annunci di *picoprocessor* possono poi essere possibili per il periodo 1985-1987. Quello che importa rilevare è che questi sviluppi modificheranno grandemente il nostro modo di considerare i computer.

La prossima frontiera nella microcodifica sarà determinata da quella fascia di apparecchiature che saranno disponibili per le operazioni di tutti i giorni: dall'elaborazione al *word processing* fino a comprendere svariati altri campi. In questo senso è appropriato distinguere 10 grandi linee di prodotto e categoria di servizi:

1. *Mainframe* - sono computer general purpose comprendenti la memoria centrale che viene fornita direttamente con essi a esclusione delle periferie terminali; la manutenzione, sia locale che remota, viene fornita in base ad un determinato canone.
2. *Mini e Microcomputer* - coinvolgono tutti gli utenti finali con Mini e Micro forniti OEM, con le relative memorie originali ad esclusione delle periferiche e dei terminali collegabili; la manutenzione è effettuata come nel caso precedente.
3. *Periferiche e terminali* - di questa classe fanno parte tutte le unità inviate come parti del sistema completo o anche spedite separatamente, comprendendo apparecchiature di data entry e memorie aggiuntive ma non apparecchiature senza connessione funzionale ai sistemi DP (ne sono esempi i registratori di cassa standalone e le apparecchiature POS - Point of sale).
4. *Apparecchiature per l'automazione dell'Ufficio* - comprendono diversi tipi di apparecchiature come i word processor, i copiatori intelligenti e no, il fac-simile, il videotex, apparecchiature Point-origin come i POS. L'area dell'automazione dell'ufficio sarà uno dei settori di maggior competitività del futuro con particolare enfasi sulle capacità di comunicazione, la distribuzione elettronica dei documenti e l'accessibilità ai data base.
5. *Comunicazioni locali* - il PBX è il punto di riferimento fondamentale e con esso i modem. In realtà questa classe è molto più ampia e include le stazioni di lavoro, voice store and forward, unità bus ad alta capacità per le reti locali tralasciando il knowhow e il software che costituiscono una vera e propria classe a sè. Vale la

pena comunque ricordare che le reti locali (LAN) costituiranno uno dei principali centri di attenzione degli anni 80.

6. *Comunicazioni a lunga distanza (long haul)* - il cui elemento chiave sono le reti commutate e trasmissioni dati con i relativi servizi forniti. Contrariamente alle reti locali è compreso anche il software architetturale e questo perchè tali soluzioni forniscono sempre più un servizio completo per voce, testi, dati e immagini. In questa classe rientrano i satelliti, le fibre ottiche, le microonde, i ponti radio, ecc.

7. *La robotica* - che con macchinari basati sui microprocessori rende possibile produrre riducendo al massimo l'intervento dell'uomo grazie all'automazione di diversi processi della produzione: dal montaggio, verniciatura, fusione, forgiatura, assemblaggio, trasporto, via via fino ai sistemi per il riconoscimento della voce.

8. *Software e firmware* - in cui rientrano tutti i prodotti software per qualsiasi tipo d'uso: OS, DBMS, sistemi transazionali, applicativi unitamente alla manutenzione e alla assistenza al cliente nel caso di realizzazioni particolari. La linea del firmware sarà una diretta estensione di questa classe, in parte sovrapposta ma anche largamente complementare. La tendenza che abbiamo già evidenziato in questo capitolo influenzerà direttamente i costi di sviluppo dei microcomputer come è illustrato nella Figura 10.9.

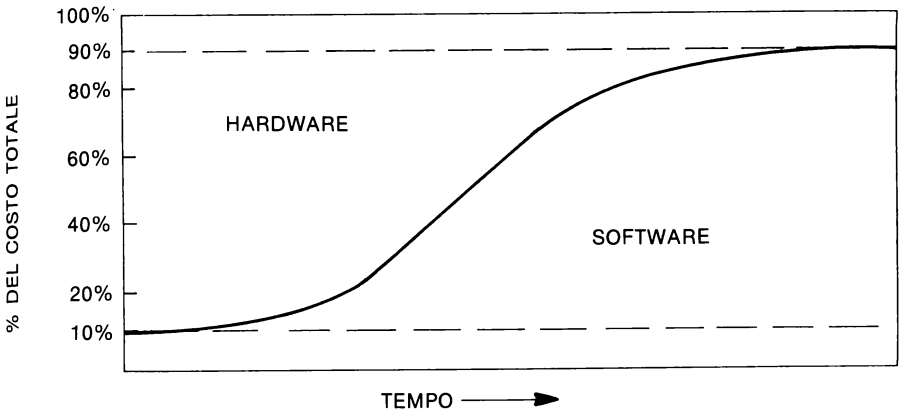


Figura 10.9 — i costi per installare ed avviare un minicomputer aumentano sempre più a causa del software. Il solid state software può essere la miglior soluzione per far decrescere questa tendenza.

9. *Supporti e materiali d'uso* - i supporti continueranno a risolvere il problema della registrazione magnetica e continueranno ad essere dischi e nastri; vi sarà una gran varietà di materiale d'uso come i nastri di carta carbone, carta e modulistica in attesa che divengano prodotti di consumo le apparecchiature di visualizzazione elettronica.

10. *Knowhow* - questa è l'area che ha le maggiori potenzialità future. Comprende la formazione e l'addestramento aziendale a tutti i livelli, servizi di consulenza ad alto contenuto professionale arrivando a costituire la vera frontiera dello sviluppo tra la fine degli anni 80 e i primi anni 90.

Tutte le opportunità tecniche e commerciali che abbiamo discusso trattando gli sviluppi hardware e firmware dipenderanno in gran parte dalla crescita delle prospettive del mercato dei microcomputer. Tutte le previsioni concordano sul fatto che questa crescita non rallenterà: nel 1981 le consegne di apparecchiature dovrebbero superare le 500.000 unità e, a partire dal 1985, nei soli Stati Uniti saranno probabilmente consegnati 2 milioni di sistemi di microcomputer; al livello internazionale poi la crescita dovrebbe essere il doppio di queste cifre. Quanto velocemente il mercato crescerà è un argomento aperto e sicuramente dipenderà dalle prospettive applicative.

Ricordiamo però ciò che avvenne con l'intervento del minicomputer nelle vendite dei tradizionali Mainframe nel corso degli anni 70. Incoraggiando sistemi d'informazione distribuita i minicomputer dislocarono l'elaborazione che sarebbe stata tradizionalmente fatta in modo centralizzato dai grandi computer. Misero inoltre un po' fuori gioco i tradizionali e consolidati costruttori di mainframe e partire dall'IBM in giù. Dagli anni 80 in poi i microcomputer promettono di fare lo stesso con i mini grazie ad un approccio che può essere ben illustrato dicendo: "un micro su ogni scrivania ed in ogni casa". Dalla metà degli anni 80 però gli stessi micro saranno affrontati dai nanocomputer che si assumeranno un crescente carico di funzionalità comprese quelle firmware.

Caratteristica di questa nuova situazione sarà il fatto che i nanocomputer non saranno distribuiti necessariamente dalle aziende produttrici ma, piuttosto, da catene commerciali di distribuzione che avranno un ruolo preminente nello stabilire prezzo e prodotto. Si tratterà di un vero giro di boa sia nel software che nel firmware: le catene commerciali determineranno il prezzo al quale desiderano vendere un prodotto e chiederanno dunque ai fabbricanti di progettarlo e realizzarlo a quel livello. A sua volta questo comporterà che tutte le aziende saranno portate a tenere bassi i prezzi dell'hardware, del software e del firmware.

Con l'aumento della concorrenza in termini di costo e funzionalità di prodotto, unitamente ad una tendenza verso prodotti facilmente disponibili, i problemi decisionali non riguarderanno più quale fornitore favorire ma che criterio usare per effettuare le scelte.

CAPITOLO 11

IL CAD – COMPUTER AIDED DESIGN

1 – INTRODUZIONE

Sono vari i modi con cui si possono valutare i metodi "computer aided" come strumenti per aumentare l'efficienza. Un modo consiste nel considerare il ritorno dell'investimento fatto nell'acquisto del sistema. Un altro sta nella possibilità di ridurre il personale a partire dagli ingegneri fino agli insegnanti. Un terzo modo consiste nel considerare i metodi e l'organizzazione assistiti dai microprocessori come parte integrante di una più generale conversione verso un posto di lavoro dotato di maggiore efficienza.

Vi è una strettissima relazione tra la robotica, il CAD/CAM ed altre forme di automazione flessibile. È veramente sorprendente quanto il CAD/CAM e la robotica siano arrivati ad avere in comune in un così breve periodo di tempo, passando ad essere un settore degno della massima attenzione dopo essere stato appena credibile in passato.

Le società che hanno sperimentato i vantaggi del CAD hanno osservato che il ritorno di investimento è stato anche migliore di quello che originariamente ci si aspettava. E questo significa ulteriori risparmi per i clienti e guadagni per l'azienda produttrice. In un caso, i progettatori ed i disegnatori che usavano 7 stazioni di lavoro CAD on-line con un sistema di data processing si rivelarono 475 volte più produttrici dei loro corrispondenti colleghi che lavoravano ai tradizionali tavoli da disegno.

Le applicazioni scientifiche e d'ingegneria non sono soluzioni monolitiche e neppure dovrebbero essere considerate come distinte da altre fasi applicative basate sul computer.

Come la Figura 11.1 documenta, formano un tutto continuo: dall'ingegneria nucleare con enormi problemi di calcolo alla stazione di lavoro polivalente, dal CAD per studi tecnici all'ambiente commerciale interattivo, esiste una notevole continuità che spesso sfugge alla nostra attenzione.

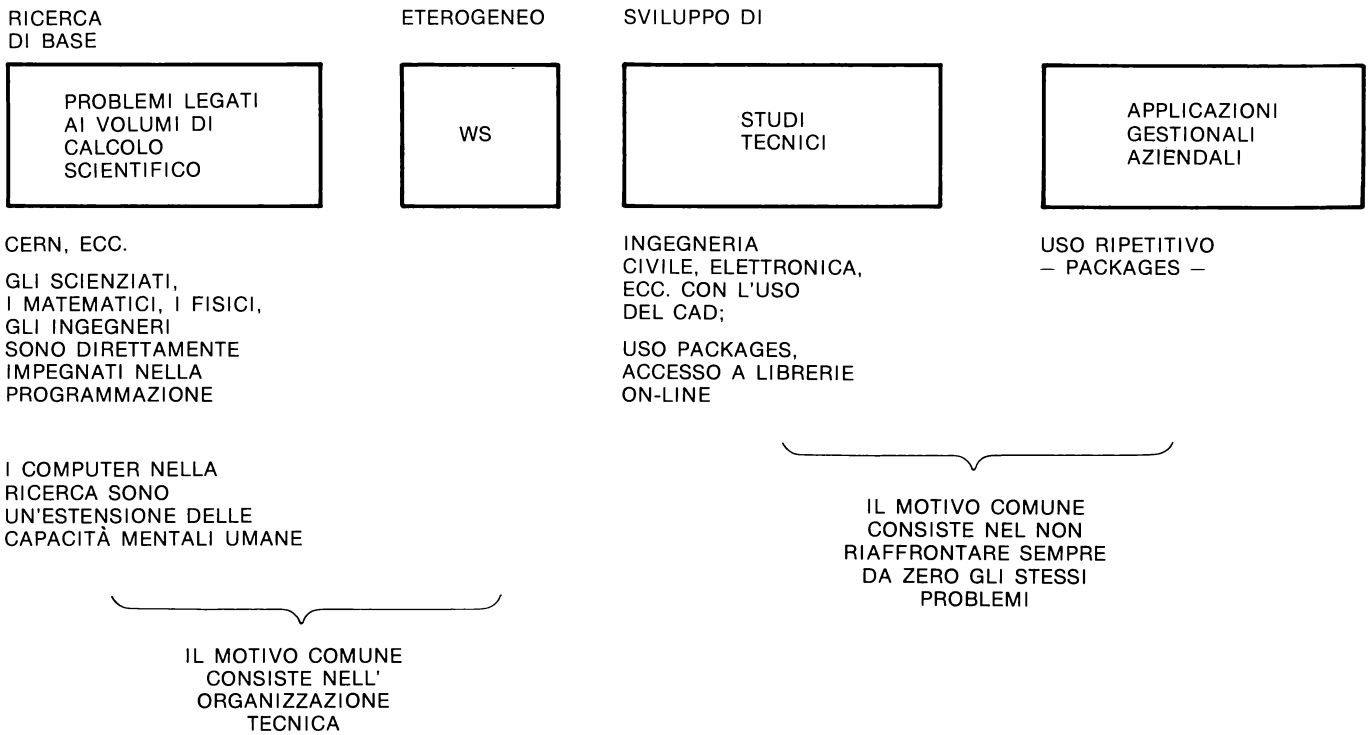


Figura 11.1 — le applicazioni di tipo scientifico costituiscono un continuo, dai problemi di calcolo dell'ingegneria nucleare alle stazioni di lavoro polivalenti, dal CAD per gli studi tecnici all'iterazione con le problematiche amministrative e commerciali; dalla distinta macchinari agli ordinativi di componenti.

Un importantissimo vantaggio che il sistema CAD offre sta nel grande aumento della qualità degli schemi e dei disegni; infatti l'EDB (engineering database) assicura che ogni disegno e simbolo archiviato in memoria sarà riprodotto esattamente nello stesso modo ogni volta. Un altro ulteriore vantaggio sta nell'eliminazione delle tediose e ripetitive procedure di disegno e realizzazione degli schemi. Il CAD ha permesso agli appaltatori e realizzatori di crescere rapidamente, ingigantendo le capacità dei loro ingegneri e disegnatori per far fronte alle nuove necessità. Queste aziende hanno aumentato la fiducia nella propria capacità di mantenere tempi e vincoli promessi al cliente proprio perché si sono sentite liberate dalla paura d'incorrere in "colli di bottiglia" nelle fasi di progettazione e di disegno. È anche vero però che questi investimenti richiedono nuovo hardware, software, modifiche nelle strutture aziendali e notevoli spese per addestrare e formare il personale nelle fasi di avviamento.

Altre aziende di progettazione e di produzione, dalle aziende automobilistiche ed aeree fino a quelle operanti nel campo dell'elettronica, hanno avuto esperienze del tutto simili. Il loro sistema CAD è diventato più efficiente via via che si aggiungevano stazioni di lavoro e che si acquisiva esperienza. Grazie all'utilizzo dell'EDB in ogni fase dello sviluppo esse hanno conseguito notevoli vantaggi sia aumentando la produttività sia diventando più concorrenziali.

Sarebbe però lontano dalla realtà limitare il concetto di CAD al solo lavoro ingegneristico. Le soluzioni ed i metodi realizzati con l'assistenza dei microprocessori possono essere di grande aiuto praticamente in ogni campo dell'attività umana; sicuramente uno dei più importanti in questi campi è il CAI — Computer aided instruction. Infatti il CAD e il CAI hanno varie somiglianze; con l'uno e con l'altro siamo in grado di ampliare la nostra capacità realizzativa grazie all'aiuto del computer.

2 — SOLUZIONI E METODI COMPUTER ASSISTED

L'attività umana è costantemente rivolta alla ricerca di una maggiore efficienza con cui svolgere il lavoro ed i mestieri di ogni epoca. È dall'età paleolitica che l'uomo ha applicato il proprio ingegno nella scoperta ed acquisizione di nuovi e migliori metodi. Gli strumenti realizzati sono stati mezzi fondamentali in mano nostra ma il fattore determinante è stata la risposta che si è stati in grado di dare alla necessità di addestramento e d'introduzione di tali strumenti.

Lo spionaggio industriale e tecnologico è in strettissima relazione a questa intensa ricerca di knowhow ed è anche più vecchio dello stesso spionaggio militare. I tre più antichi esempi in merito sono: primo, ed è il più importante di tutti, consistente nella lotta per accedere al segreto del fuoco. Si pensa che ciò avvenne 10 mila anni circa prima di Cristo e fu su questo che si costituì il mito di Prometeo. Forse il secondo più importante esempio fu il furto di gatti in Egitto, che avvenne 3000 anni a.C. I gatti costituivano un segreto militare nell'antico Egitto: erano i guardiani contro i topi del grano accumulato e di altri prodotti agricoli. Ebbero così modo di salva-

re il paese dalla fame. Quando tale segreto si diffuse furono rubate coppie di gatti e tale razza si diffuse in tutto il mondo.

Un terzo esempio sull'importanza che l'umanità ha sempre dato al knowhow è il furto del segreto della seta dalla Cina 500 anni circa a.C. Quello della seta era un segreto custodito gelosamente; ma una principessa cinese innamorata di un indiano attraversò il confine con un grande cappello pieno di bachi da seta. Un quarto caso è quello del caffè arabico arrivato in Brasile; un quinto è quello del segreto, gelosamente custodito, dell'albero della gomma brasiliano, messo poi a disposizione delle potenze occidentali.

Il knowhow è sempre stato una merce commercializzabile ma vi è una differenza fondamentale con la conoscenza di oggi. Abbiamo raggiunto un'altra epoca, l'epoca in cui più suddividiamo la conoscenza più ne abbiamo; mentre la conoscenza che non è suddivisa decade. Questo il significato essenziale, centrale dell'insegnamento, della sperimentazione e dell'apprendimento esteso a tutto l'arco della vita. Ed è qui che sta uno dei maggiori contributi che le soluzioni e i metodi realizzati con l'aiuto del computer possono portare alla nostra civiltà.

La conoscenza: il manifestarsi ed il percepire cose e idee fino ad arrivare all'intelligenza che porta oltre lo stato di conoscere e comprendere. Ma cos'è l'intelligenza? il dizionario Webster la definisce come la capacità di apprendere dall'esperienza; di acquisire e di ritenere conoscenza; una capacità di reagire rapidamente e con successo ad una nuova situazione; la capacità di usare le facoltà della ragione, dalla soluzione dei problemi al corretto comportamento.

Intelligenza implica capacità di memoria e di calcolo; imparare è il prodotto di questi due fattori. Ma l'apprendimento dev'essere aumentato attraverso il processo di deduzione e di speculazione, attraverso la realizzazione d'esperimenti e la capacità d'astrazione del pensiero. Una delle qualità fondamentali che avrà una persona con intelligenza e cultura sarà la capacità di concretizzate i propri pensieri e di scriverli. Un'altra grande qualità è la capacità d'integrare le idee, i concetti e le informazioni per formare un aggregato utile agli scopi preposti.

La concretizzazione e l'aggregazione sono qualità dell'intelletto per eccellenza, tuttavia le soluzioni "computer assisted" possono aiutare in qualunque campo; è sotto questo punto di vista che devono essere esaminati sia il CAI che il CAD per poter poi partire con i giusti concetti.

Il CAI è una qualsiasi altra applicazione basata sul computer: secondo quanto abbiamo esposto, le sue potenzialità possono rivoluzionare il nostro sistema educativo. Grazie ai microprocessori il costo orario del rapporto diretto con lo studente sta drasticamente riducendosi, restando comunque al di sotto di quelle del tradizionale insegnamento. Bisogna considerare inoltre che i ragazzi amano il CAI: è difficile tenerli lontani dal computer; sono molto più interessati di prima ad imparare mentre si rileva un deciso aumento nella frequenza.

Il problema non sono gli studenti ma gli insegnanti. Costituisce ancora un ostacolo l'ignoranza degli educatori e degli amministratori in fatto di computer; tuttavia questo è un tema che vari fornitori stanno affrontando in prima persona. Ad esempio l'ultima campagna promozionale della Apple si basa su un package contenente un programma di formazione che viene fornito con il primo micro comprato da ciascuna scuola.

Un modo per facilitare l'entrata dei computer nelle classi è, ad esempio, il lavoro di organizzazioni come la MECC (Minnesota Educational Computing Consortium), creata nel 1973 come un'organizzazione operante a livello di stato nel campo dei servizi di computer, con lo scopo di pianificare, coordinare e rendere operanti tutti i servizi di computer ai suoi membri. Ed i suoi membri sono il sistema scolastico pubblico del Minnesota, l'Università del Minnesota, il sistema universitario statale, i collegi statali ed il Ministero statale dell'educazione. Il MECC ha un sistema timesharing che serve più di 2000 terminali e collega il 90% di tutte le scuole del Minnesota. In ogni momento i terminali attivi sono circa 350.

I servizi timesharing sono acquistati dai membri MECC e sono inoltre disponibili consulenti senza alcun aggravio di costi per assistere alle riunioni di avviamento, alle conversioni e allo sviluppo dei programmi e dei corsi. Il MECC offre inoltre una libreria di più di 950 microprogrammi a partire da livelli elementari fino a quelli rivolti all'istruzione superiore. I supporti software sono stati molto utili nel fare la campagna promozionale riguardante l'hardware che sta dietro. Siamo partiti riferendoci al CAI perché lo consideriamo un po' come il fratello gemello del CAD. Consideriamo ora qualche statistica CAD.

La Tavola 11.1 presenta una consistente lista dei maggiori costruttori di apparecchiature CAD/CAM. Non tutte le aziende considerate sono direttamente comparabili in termini di linea di prodotti; è un settore questo troppo giovane perché si possa fissare questo punto. Per esempio il riferimento Lockheed/IBM riguarda il software CAD/CAM prodotto dalla Lockheed che viene gestito però da computer IBM.

Sarà corretto aggiungere alla fine di questa lista alcuni costruttori di sistemi grafici, come: la Hewlett-Packard, la Strongberg Carlson, la Tektronix, la Sanders, la Ramstek, la Digital Equipment, l'IBM e la CDC. Molte delle aziende consolidate nel campo dei computer stanno compiendo un notevole sforzo per fornire ai propri utenti finali notevoli strumenti software in merito. Si tratta inoltre di un buon affare: l'International Data Report prevede 15.000 sistemi CAD/CAM operanti già dal 1984; il che è più del 100% della situazione del 1980.

È del tutto probabile che il CAD e il CAM costituiranno uno dei più dinamici settori dello sviluppo di questo decennio: solo il mercato dei personal computer supererà il loro tasso di crescita. La ragione di fondo è che il CAD/CAM è in grado di aumentare la produttività e, quindi, la competitività. Per renderci conto dello sforzo che sta dietro alle soluzioni CAD/CAM dovremmo dare una prima occhiata a questo grande settore da una prospettiva più ampia e generale.

Tavola 11.1: Fornitori di sistemi CAD/CAM presenti sul mercato USA

Fornitori	**Unità installate all'1/1/80**	**Percentuale di mercato (riferita al valore in dollari)**
Computervision	460	26
Applicon	555	16
Auto-Trol	210	12
Calma	300	11
Evans & Sutherland	175	8
Redac	225	8
Lockeed/IBM	53	7
Gerber	125	6
Synercom	40	3
Summagraphics	48	2
Calcomp	10	1
Nicolet Zeta	5	
National Computer		
Information Display		
Data Technology	...	
Altri	...	
Totale circa	**2.250**	**100**

Al primo trimestre '82 la situazione era la seguente:

Fornitori	**Percentuale di mercato (riferita al valore installato in dollari)**
Computervision	30
Applicon	16
Calma-GE	14
Auto-Trol	10
Evans & Sutherland	10
Gerber	4
Lockeed/IBM	4
Altri	12
	100

3 — CAD E CAM

Vi sono due modi per considerare il campo del CAD e il più generale settore del computer graphics. Uno è quello che consiste nella ricerca di una soluzione per soddisfare precise necessità tecniche. Da questo più limitato punto di vista i respon-

sabili tecnici sono fondamentalmente interessati ad acquisire impressioni personali sull'efficienza dell'apparecchiatura e sulle sue possibili conseguenze sulla produttività tecnica.

Nel caso di una determinata azienda industriale l'interesse per una soluzione CAD deriva principalmente dalla volontà di estendere le tipiche possibilità offerte dal PERT. Vi è però anche un altro, e molto più generale modo con cui considerare la questione: e consiste nel percorrere la strada che porta a rispondere alla necessità sia d'informazioni direzionali che tecniche in modo interattivo e con una presentazione largamente basata sui grafici.

Quello che le due strade hanno in comune sta nel fatto che entrambe richiedono notevoli sforzi per identificare e definire con rigore la situazione. Il vantaggio fondamentale di un sistema grafico interattivo sta nel fatto che permette di generare dinamicamente, verificare e combinare complessi oggetti tridimensionali usando un input bidimensionale. È da qui che può partire la lista dei relativi vantaggi.

Il *computer graphics* ha una lunga storia come è illustrato nella Figura 11.2. Dapprima si realizzò un uso del computer rivolto puramente e semplicemente alle necessità ed alle applicazioni dell'ingegneria; questo sforzo si realizzò principalmente prima e durante la seconda guerra mondiale. Ne furono conseguenze dirette i sistemi per il controllo radar e di puntamento. Nella metà degli anni 50 cominciarono a rivelarsi le possibilità disponibili con le macchine a controllo numerico. Dopodichè, alla fine di quel decennio fu realizzato il sistema SAGE (Semiautomatic Air to Ground Equipment).

Un ulteriore impeto venne dai plotter analogici del tipo x-y, dai CRT, dai plotter a microfilmatura e dal timesharing che furono sviluppati agli inizi degli anni 60. Più o meno nello stesso periodo l'attività pionieristica della Sutherland diede alla luce il precursore degli attuali sistemi CAD, mentre i laboratori della General Motors avevano lavorato attivamente al DAC-1 (design augmented by computers).

L'IBM, la CDC, la ITEC ed il MIT sono tra le organizzazioni che si sono rivelate le più attive nel lavorare sulla questione del computer graphics. In questa lista di prevalente interesse ingegneristico porremo a giusta ragione il lavoro pioneristico svolto dal BPO (British Post Office) che sviluppò il Videotex interattivo (Viewdata) combinando testi, dati e grafici per applicazioni manageriali e rivolte al servizio pubblico. Tutto ciò si mescola e si combina quando consideriamo sia l'ambiente-ufficio che i reparti di produzione.

I computer ed i visualizzatori CRT possono essere usati per realizzare disegni, progettazioni e funzioni produttive. Sono molte le fasi, e sono praticamente tutte quelle dell'area ingegneristica, che possono essere concepite, provate e verificate con le tecniche CAD. Lo stesso può essere detto per la fabbricazione: il CAM (computer aided manufacturing) è un settore caratterizzato da un rapido sviluppo che segue la logica della tecnologia CAD e che integra in se stesso svariate capacità ormai consolidate e basate sul computer a partire dalla gestione d'inventario fino al controllo numerico dei macchinari, il che porta alla *robotica.*

Un esempio delle possibilità on-line sta negli studi per la riduzione del peso nel-

l'industria automobilistica. Il lavoro di progettazione per la riduzione del peso è di difficile realizzabilità a causa della particolare attenzione che si deve porre nella sostituzione dei materiali (metalli leggeri e plastica); inoltre per la maggiore presenza

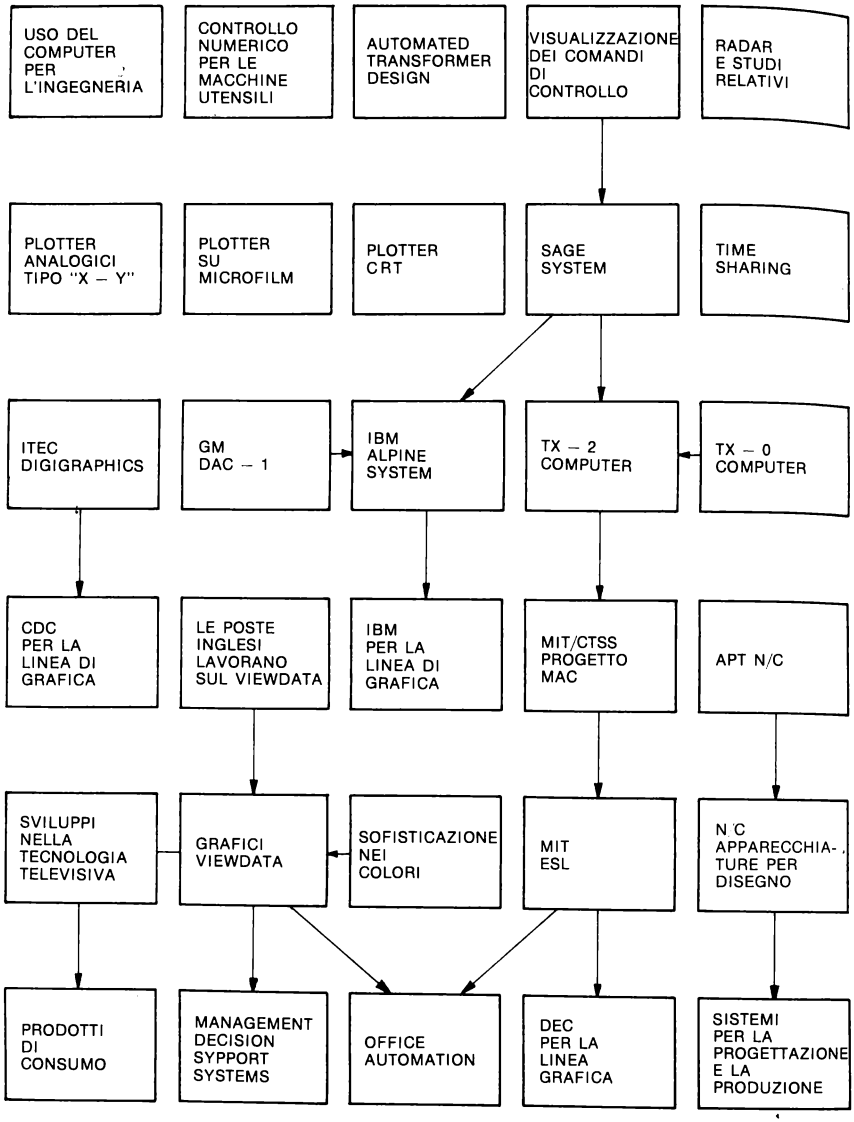


Figura 11.2 — il computer graphic ha una lunga storia. Sono qui illustrate le pietre miliari di uno sforzo durato 30 anni.

di soluzioni elettroniche in un prodotto che era e resta sostanzialmente meccanico; il tutto con l'esigenza di nuove e più potenti linee di produzione.

Dei video-console, basati sui computer, sono stati usati con successo per valutare le caratteristiche strutturali dei disegni e dei progetti come un *vehicle structural analysis program (VSAP)*. Con il VSAP gli ingegneri possono "assemblare" modelli matematici dei componenti di un'auto e quindi simulare la prova su strada con altri modelli matematici.

Un'attenta valutazione delle caratteristiche strutturali, la simulazione del test su strada ed ogni altra attività che è realizzata con il computer, necessitano notevole supporto software. Questo si divide in due parti principali:

- il software di base, o sistema operativo (OS);
- i programmi applicativi.

Con la classica elaborazione dati questi ultimi sono scritti dagli utenti; i primi dai fornitori. Sia il CAD che l'OA (office automation) sono però due aree ben precise nelle quali i packages sono generalmente ben accetti (tendenza questa veramente molto positiva) ed in cui l'OS tende ad integrarsi ad essi.

Il software deve permettere che gli aggiornamenti nei progetti, negli schemi e nei disegni possano essere fatti con il minimo rischio per l'utenza. Sono veramente molti gli errori e le imprecisioni che derivano dal processo di progettazione. Questo è uno dei motivi basilari per cui il CAD-CAM accelera la progressione logica del progetto:

- identificazione del problema,
- correggere il progetto,
- raffinare il modello e
- analizzare il risultato.

Partendo da ciò è un passo relativamente facile determinare la corretta strumentazione per realizzare il prodotto progettato; questo processo ha un'ulteriore vantaggio di guadagnare in accuratezza in riferimento ad un singolo EDB (Engineering data base).

È proprio l'EDB l'altro "pilastro" su cui poggia il CAD/CAM. Quando è mantenuto appropriatamente esso si rivela facilmente aggiornabile, consistente, accessibile alle richieste dell'utente, veloce nella manipolazione; include poi tutti gli elementi che sono necessari ad una gran varietà di specialisti. Questo stesso fatto unitamente alle capacità interattive on-line supportate dai computer permettono di integrare in una sola entità reparti lontani tra loro nei quali molta competenza e professionalità hanno lavorato separati l'uno dall'altro per decenni.

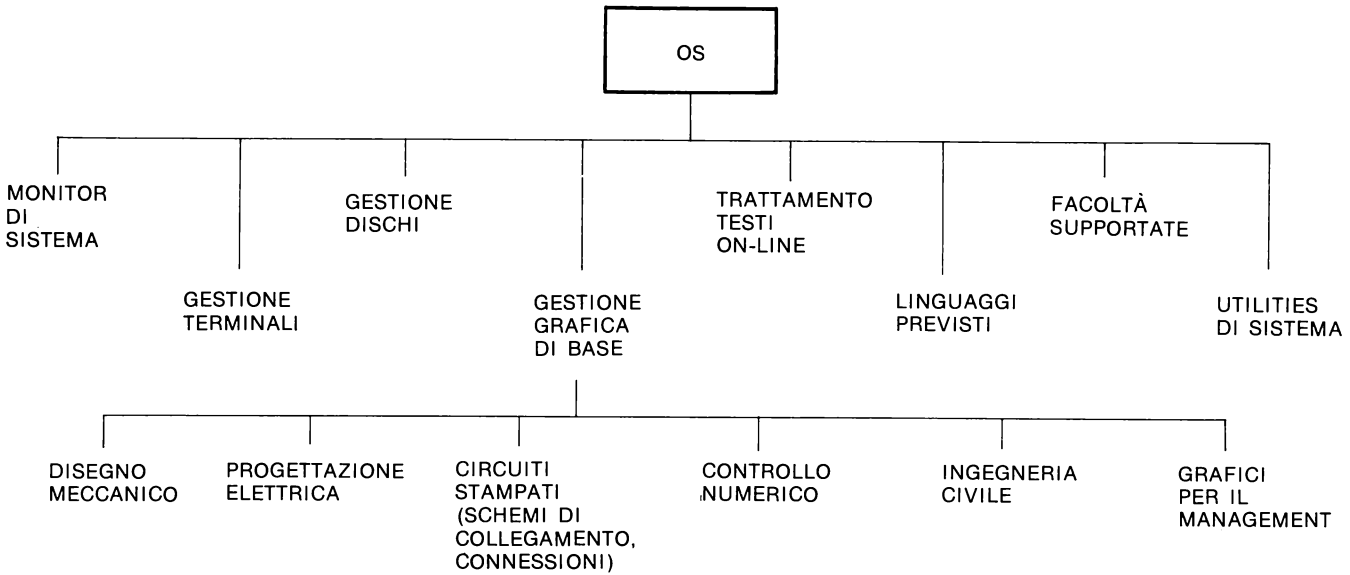


Figura 11.3 — la dotazione di software di base per il computer graphic è tipicamente più vasta di quella che ha caratterizzato per 20 anni i sistemi batch. Devono essere infatti supportate non solo le tradizionali attività ma anche un'ampia gamma di applicazioni funzionali.

Abbiamo detto che la capacità di memoria è uno degli ingredienti fondamentali dell'intelligenza dei computer e proprio questo è del resto l'obiettivo dell'EDB (engineering database). La potenza di calcolo del computer rappresenta il mezzo più veloce per sperimentare e simulare. I due insieme rendono possibile la realizzazione dei modelli partendo dai disegni, prove distruttive simulate in memoria ed ogni sorta di valutazione dei prototipi. Dopodichè si ha immediatamente, nelle stesse località di produzione, tutte le capacità fornite dal computer unitamente alla tecnica di databasing.

È pianificato che dalla fine degli anni 80 saranno i computer a controllare circa il 90% di tutte le nuove macchine operanti nelle linee di produzione e di assemblaggio della General Motors. Sarà quasi una rivoluzione: infatti poichè la struttura di base di queste macchine è rimasta inalterata per vari anni, si stanno anche attivamente studiando nuove soluzioni in grado di trarre il massimo vantaggio dalle più recenti tecnologie.

Tipicamente la progettazione di queste nuove macchine include il controllo effettuato dal computer che influenzerà il modo di alimentare le apparecchiature e la loro velocità operativa, la loro stabilità dinamica; i controlli a retroazione per i macchinari di precisione e gli strumenti per assicurare la levigatura. Le lezioni imparate nelle prime applicazioni possono trovare un grande mercato attraverso l'industria.

Anche se lo si dice spesso, non sempre si tiene in adeguata considerazione il fatto che la produttività non aumenta seguendo i principi dell'ovvietà. Dobbiamo ristudiare le nostre macchine, studiarle attentamente, eliminare tutte le parti che richiedono intervento da parte dell'operatore ed avere il coraggio di abbandonarle; bisogna introdurre apparecchiature di calcolo e di memorizzazione ed integrarle al massimo nei processi ai quali sono destinate.

Infine il CAD/CAM può giocare un ruolo fondamentale nella ricerca di una soluzione ad un problema che ha ossessionato i progettatori per decenni: il ridisegno radicale di prodotti principali. L'incorporazione di funzioni basate sui microprocessori ha prodotto significativo interesse sul tema della riprogettazione e quello connesso dei costi di ingegneria. Il problema è operare con validi supporti nel momento della produzione dopo che il reparto d'ingegneria ha fornito i progetti e le specifiche.

Il problema riguardante i costi d'ingegneria è affrontato attualmente in due modi:

1. continuare con un gruppo di ricerca e sviluppo costituito dalla stessa persona che ha sviluppato il prodotto (soluzione questa che può essere anche valida ma che è anche antieconomica), oppure

2. realizzare un reparto separato dedicato ai problemi d'ingegneria, (ma fino a che i componenti non avranno conosciuto di prima mano il prodotto essi potranno avere problemi tecnici; inoltre questo tipo di lavoro demotiverà gli ingegneri a più alto livello) oppure

3. una volta che un progetto è completato assegnare i suoi membri ad un altro mantenendo, diciamo, il 10% del loro tempo per supportare l'attività d'ingegneria.

Quest'ultima può sembrare una soluzione effettiva ma può anche causare un ritardo dei nuovi progetti a causa dell'assenza di alcuni uomini chiave del gruppo. Il CAD/CAM può mantenere questi uomini "nel gruppo" dandogli l'accesso interattivo istantaneo all'EDB anche se il loro lavoro principale può riguardare un tema completamente diverso.

L'apparecchiatura con le sue capacità on-line unitamente ad un database sempre aggiornato fungerà da catalizzatore anche se rimarrà fondamentale l'esigenza di una solida metodologia. La risposta migliore sta nello stabilire una disciplina conosciuta, osservata ed accettata da tutti:

- le specifiche devono essere assolutamente completate e chiuse prima di essere passate alla produzione;
- i problemi ingegneristici di produzione possono essere meglio affrontati mentre il prodotto è in laboratorio; anche se
- si può costituire un'effettiva interattività tra i reparti di progettazione e di produzione, durante la vita del prodotto, grazie al CAD/CAM.

Quale sia la via precisa da scegliere dipende dalle condizioni prevalenti, dalla frequenza con cui vengono fatte richieste di supporto e dall'ammontare di complicazioni richieste. Un sistema informativo che integra la capacità CAD/CAM può anche fornire un solido terreno per il computo del lavoro da addebitare (solitamente utile per le commesse pubbliche che richiedono un notevole supporto d'ingegneria). L'addebito dei costi a fronte di budget previsti ed un sistema di disincentivazione può aiutare a ridurre l'ammontare del supporto d'ingegneria richiesto ma è necessario tener traccia di tutte le richieste e documentare i costi con dati validi.

Non bisogna inoltre dimenticare che questi sono i costi che stanno diventando più significativi dal momento che le industrie progettano soluzioni piuttosto radicali per l'innovazione della produzione, e queste fanno parte dell'obbiettivo nazionale, ad esempio, degli Stati Uniti consistente nel rendere le industrie americane più competitive con quelle più moderne sorte in Germania ed in Giappone. Questa strada potrebbe essere percorsa più velocemente se il governo americano fornisse maggiori incentivi all'industria per modernizzare i propri impianti.

4 — L'APPARECCHIATURA CAD

Le facoltà che abbiamo descritto portano in evidenza il fatto che si possono utilizzare apparecchiature interattive oggi disponibili per permettere un'imputazione rapida e semplice di dati tridimensionali rappresentanti oggetti con una sufficiente complessità in modo da renderli significativi in problematiche di progettazione. Per raggiungere tale obiettivo i componenti hardware comprendono:

1. un processore d'immagini capace di svolgere funzioni quali trasformazioni, sezioni e visioni prospettiche;

2. una memoria per le immagini;
3. un generatore d'immagini;
4. un generatore di caratteri;
5. un'unità di visualizzazione;
6. apparecchiature come le tavolette grafiche con cursori; joystick, switches funzionali e la tastiera alfanumerica.

Nell'apparecchiatura della Evans and Sutherland, ad esempio, il controller d'immagine è un PDP 11/34 con una memoria di 40 KW. Un buffer interprocessor permette il trasferimento di blocchi di dati tra il PDP 11 ed il central graphics processor in entrambe le direzioni. (Figura 11.4).

Le applicazioni software prevedono la generazione e la manipolazione di volumi rappresentanti oggetti e localizzazioni significative in un certo contesto. Una localizzazione può essere rappresentata sia dai contorni tridimensionali di una mappa sia da una griglia cartografica.

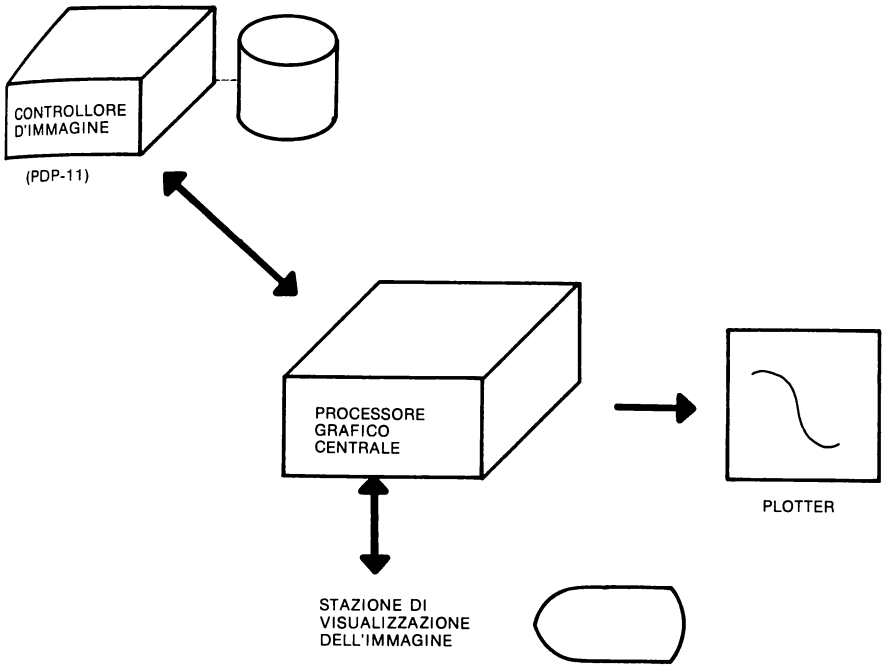


Figura 11.4 — i principali componenti di una tipica configurazione di computer graphic: picture controller, central graphic processor, picture station e plotter.

L'utente sistema la voluta mappa sulla tavoletta e traccia nuovi contorni gestendo la scrittura con un processo di inchiostraggio e con un movimento della penna in alto e in basso e secondo le coordinate planari x e y.

La dimensione dei contorni è inserita ad esempio con la tastiera alfanumerica, il valore visualizzato sul video rimane effettivo fino a che non viene inserito un nuovo valore. Ogni utente definisce i contorni in un segmento indipendente nella memoria d'immagine in modo tale che anche se sono visualizzati tutti i contorni solamente il segmento che sta ricevendo i dati è effettivamente attivo e richiede aggiornamento ad ogni ciclo; questo semplifica la memorizzazione e l'editing dei dati.

Un sistema multimmagine può supportare parecchi utenti simultaneamente, ciascuno interagente con immagini di oggetti bi- e tridimensionali. È possibile connettere fino a 4 central graphics processor al picture controller e si possono collegare ad ogni processore fino a 4 stazioni con capacità di visualizzare a risoluzione d'immagine.

Il picture controller può eseguire concorrentemente vari programmi grafici e non grafici. Ogni programma grafico consiste di un database che descrive gli oggetti da rappresentare e d'istruzioni per visualizzare un'immagine del database sulla picture station; è in grado inoltre di interpretare le modifiche che le stazioni interattive vogliono apportare al data base.

Il central graphic processor è composto da unità hardware grafiche specializzate in grado di creare un'immagine del database. La *picture memory* memorizza linee e punti per un rinfrescamento continuo dell'immagine, che può risultare segmentata in tale memoria. Il picture processor effettua rotazioni bi e tridimensionali, translazioni, cambiamenti di scala, sezioni, calcolo prospettico. L'attività del picture generator sta nel leggere il contenuto della picture memory generando linee e caratteri con una determinata intensità e leggendo e scrivendo l'input e l'output rispettivamente alla giusta picture station.

Anche il picture controller legge il contenuto della picture memory ed instrada i dati al generatore di linee il quale definisce i caratteri e li sistema con la dovuta dimensione ed orientazione.

La picture station consiste di un visualizzatore d'immagine ed una o più apparecchiature per interagire con essa. Il picture display è un *refresh random stroke display* in cui le linee, i punti e i caratteri costituiscono l'immagine che appare. Vi è una varietà di apparecchiature interattive in grado di eseguire modifiche all'immagine, comprese le *light pens*, le *tavolette grafiche*, le *tastiere alfanumeriche*, i *joysticks*, gli *switches funzionali* ed i *control dials*.

I package software per sistemi grafici *multipicture* consistono di librerie di sottoroutine scritte in Fortran e di moduli di controllo che permettono di accedere alle funzionalità dell'hardware che restano trasparenti all'utente. In alcuni casi alla macchina viene connesso un plotter a tamburo con grande vantaggio per la qualità del lavoro.

I risultati sono presentati all'utente in formato tridimensionale e, come ha com-

mentato un ingegnere progettatore che stava organizzando un'istallazione, la differenza tra pensare in due dimensioni ed in tre sta:

- nel fatto che operando in 2D si può andare dalla pianta all'edificio solo attraverso una buona quantità di lavoro manuale,
- in 3D si può andare dall'edificio completamente rappresentato in 3D alla pianta in 2D operando da diverse visuali e con diverse sezioni, realizzate tutte automaticamente.

Sono svariate le operazioni che possono essere eseguite dopo che è stata definita la posizione; ad esempio possono:

- essere identificati o cancellati o modificati i singoli contorni;
- possono essere aggiunti di nuovi;
- possono essere ridefiniti i parametri di scala.

Operando in *segmented-buffer mode* la struttura del file mantiene l'integrità del *site* mano a mano che gli elementi componenti vengono aggiornati. Il site iniziale realizzato a mano è solitamente approssimativo e irregolare a causa della bassa precisione della tavola e della difficoltà che si ha nel tracciare a mano i contorni. È allora disponibile un programma interattivo che utilizza una famiglia di sottoprogrammi per adottare delle curve in modo da produrre contorni precisi e ben definiti.

Nella Figura 11.5 è rappresentato un esempio architetturale realizzato con un plotter grafico. È stato ottenuto dallo studio di un monastero, il Santa Maria di Torello; il lavoro di inserimento ha richiesto un'ora di lavoro. Il computer può produrre una completa lista di componenti per l'ingegneria meccanica e civile, il che ha un notevole interesse per ogni azienda di progettazione e di costruzione.

5 – EFFICIENZA DI PROGETTAZIONE E DI DISEGNO

Con il passare del tempo aumentano sempre di più le difficoltà a trovare validi ingegneri progettisti e diventano sempre più costosi in termini retributivi. Quindi qualsiasi contributo ad aumentare la produttività dell' "engineering" dovrebbe riscuotere il nostro interesse. Le apparecchiature basate su computer per il disegno e la progettazione dovrebbero essere di grandissimo interesse per ogni azienda operante nel campo della progettazione ingegneristica. Il principale interessamento della direzione è rivolto alla produttività dei suoi ingegneri e questo dovrebbe essere il criterio base per valutare l'utilità dell'acquisto di un sistema CAD/CAM.

I programmi batch o remoti o anche il classico timesharing non costituiscono un aiuto sostanziale alla produttività ingegneristica in quanto il loro contributo è poco più di quanto è stato offerto negli ultimi 30 anni al calcolo ingegneristico. La questione è che non dovremmo essere soddisfatti da soluzioni marginali ed i programmi

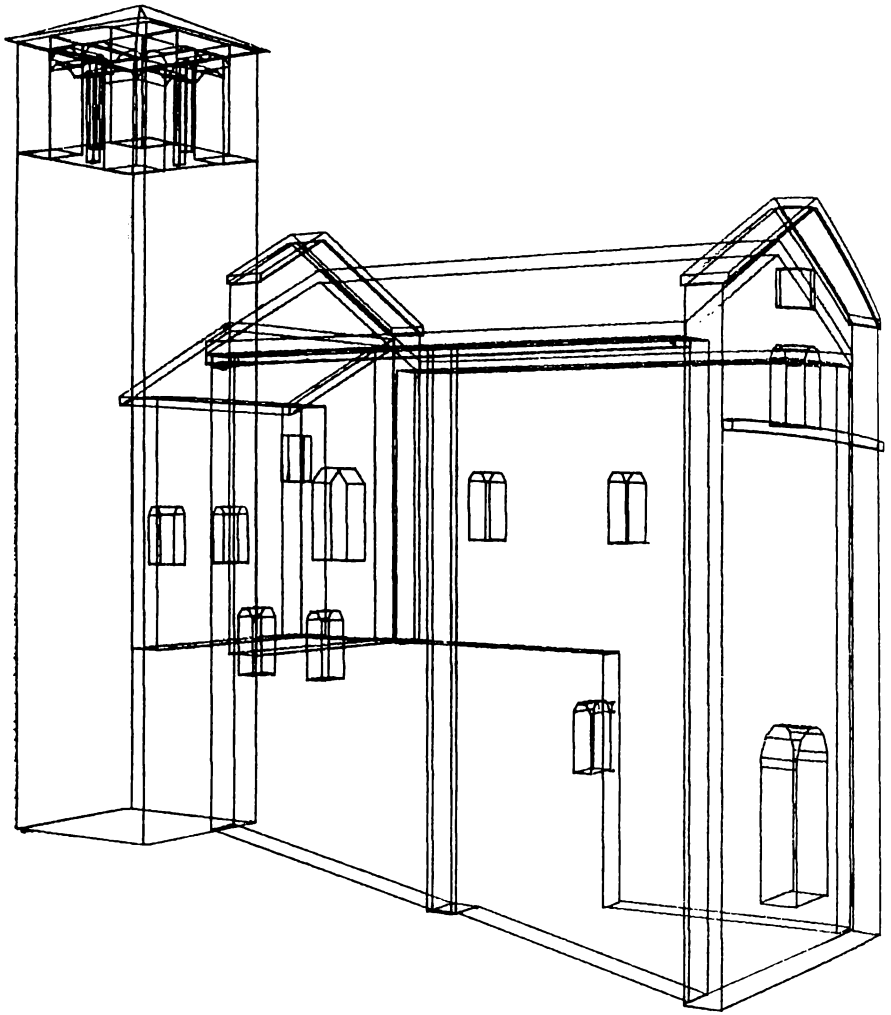


Figura 11.5 — un esempio architettonico di progettazione CAD. Lo studio del monastero di Santa Maria di Torello nel Canton Ticino della Svizzera Italiana.

batch e qualunque altro servizio di timesharing non possono essere per niente un miglioramento.

Inoltre i programmi di ingegneria operano necessariamente su mainframe in quanto i mini non sono orientati a svolgere grossi lavori di calcolo e non hanno la potenza necessaria per elaborare calcoli ingegneristici in modo batch, dando per scontato che sia disponibile il software. Dobbiamo assicurare che i miglioramenti

siano sostanziali e non marginali; inoltre che influenzino direttamente la produttività ingegneristica e che conducano dunque a risultati tangibili.

Queste sono alcune delle ragioni di fondo per cui la soluzione migliore sta nell'uso di un'apparecchiatura CAD/CAM dedicata. La Figura 11.6 esemplifica l'intera serie di aspetti di questa disciplina. Il CAD e il CAM esistono da 20 anni se la loro origine viene fatta coincidere con i primi sforzi che sono stati fatti per usare il computer nelle scienze d'ingegneria e negli studi per la produzione. Vi è però una grande differenza.

Mentre nei primi anni 60 gli antenati del CAD/CAM erano ad esclusivo uso di alcune organizzazioni (soprattutto universitarie, militari e di società come la Boeing e la General Motors) dalla fine degli anni 70 l'uso del CAD/CAM è stato generalizzato. Allo stesso modo, mentre le prime applicazioni ingegneristiche dei sistemi CAD/CAM erano focalizzate sul calcolo e sul disegno, dagli anni 70 si sono avute applicazioni più estese.

Le società di produzione applicano il sistema per progettare gli stessi impianti produttivi e per preparare i processi di fabbricazione, incluse le macchine a controllo numerico, la distinta materiali ed il processo di test. Questa attività è tipicamente fatta con stazioni di lavoro che mettono a disposizione dell'utente notevoli capacità di visualizzazione, tavole grafiche, tastiere funzionali ed alfanumeriche ed apparecchiature *hardcopy* (stampante asservita) che supporta output grafico, testi e dati.

La Figura 11.7 presenta uno schema di sistema. Il capitolo che segue offre al lettore un approccio strutturato alla metodologia ed a specifici esempi applicativi. Negli anni che vengono i migliori risultati in termini di efficienza del disegno e della progettazione saranno raggiunti da quelle aziende che mettono l'organizzazione e la metodologia prima dell'hardware e che, inoltre, saranno molto attente a formare le proprie persone.

Non possiamo e non dobbiamo assolutamente perdere tempo. Mentre la domanda è sempre più quella di aumentare la produttività dei nostri ingegneri e ricercatori e mentre molti degli strumenti che sono necessari per il futuro della nostra professione sono già oggi disponibili, la metodologia non è ai livelli a cui dovrebbe essere. Quando si ha una tale situazione il ritorno degli investimenti è il minimo ed i risultati lasciano molto a desiderare. In un campo come il CAD/CAM dobbiamo assolutamente partire dalle fondamenta.

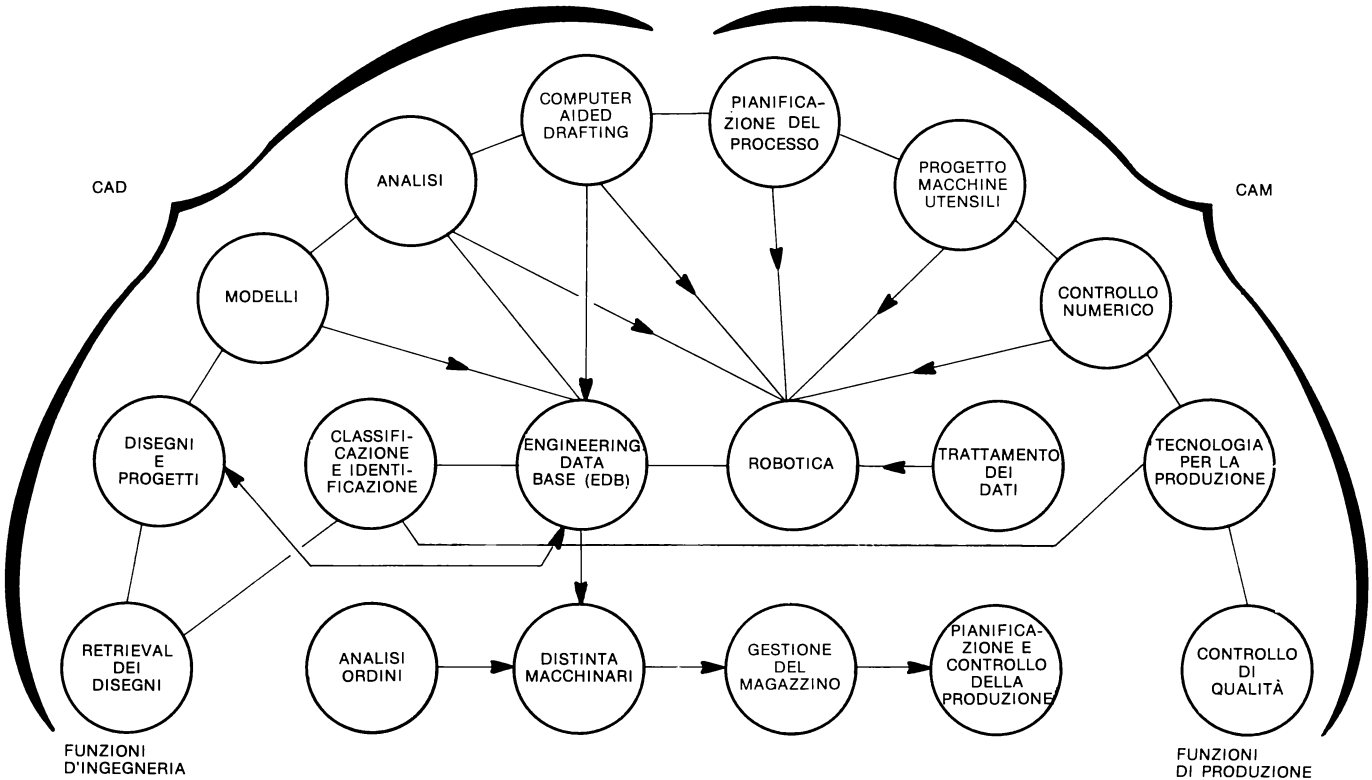


Figura 11.6 — il vasto terreno di competenza del CAD/CAM comprende sia le funzioni dell'ingegneria che quelle corrispondenti della produzione. Evidenzia così il ruolo polivalente dell'EDB (engineering database) e il contributo che le diverse discipline danno alla robotica.

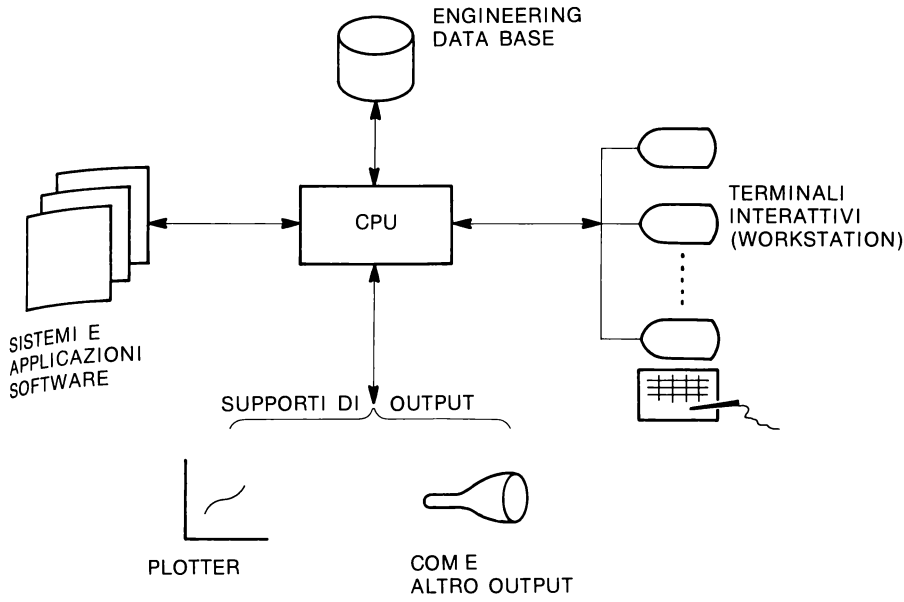


Figura 11.7 — Schema di un sistema CAD/CAM.

CAPITOLO 12

UNA METODOLOGIA PER IL CAD

1 – INTRODUZIONE

Un sistema CAD può avere una o più stazioni di lavoro, differenti tipi di apparecchiature e supporti di memorizzazione e svariate soluzioni di stampa e per il plotter: il passaggio dell'output alla microfilmatura è un esempio delle possibilità all'orizzonte. Come conseguenza dell'avanzamento tecnologico anche le configurazioni stanno cambiando: uno dei nuovi sviluppi è quello esemplificato dall'attività della *Architecture Machine laboratory del MIT.* Si tratta di sperimentazioni effettuate con *videodisco* in grado di accedere a 50.000 slide da 35 mm. Questa sperimentazione rappresenta l'inizio di un sistema a videodisco in grado di effettuare operazioni di lettura e scrittura e che ci si attende appaia sul mercato nel corso degli anni 80.

L'impatto delle nuove tecnologie può essere estremamente significativo sulla progettazione ingegneristica. La possibilità di accedere random a videodischi ad alta capacità da una parte sostituisce i microformati basati sulla filmatura e dall'altra integra la potenza dei microprocessori con i microformati ed il COM – computer output microfilm – in nuovi sistemi di computer graphics. Ci si aspetta che tali soluzioni si affermino alla fine di questo decennio e dobbiamo essere pronti ad affrontarle anche per l'impatto che avranno dal punto di vista della concorrenza.

Nelle configurazioni disponibili oggi un sistema CAD/CAM è fondamentalmente composto da apparecchiature-base che comprendono le tipiche unità dei computer: la memoria centrale, i dischi, i terminali o stazioni di lavoro. Attraverso di loro l'utente interagisce con il sistema, controlla il proprio lavoro costantemente attraverso visualizzatori grafici ed altri strumenti. In una configurazione completa le maggiori unità componenti sono:

1. la CPU – central processing unit;
2. i visualizzatori grafici;
3. le light pen ed altri supporti per l'imputazione orientati alla grafica come i joystick, i track ball e le tavolette grafiche;

4. tastiere e visualizzatori alfanumerici;
5. tastiera funzionale;
6. plotter piatti ed a tamburo per la presentazione dei dati ingegneristici;
7. digitalizzatori di piccole e grandi dimensioni;
8. stampanti elettrostatiche ed altri moderni strumenti come il COM e, eventualmente, i dischi ottici;
9. apparecchiature di stampa hardcopy come la classiche stampanti;
10. una o più unità disco;
11. una o più unità a nastro;
11. una o più unità a nastro;
12. una consolle di sistema e, per alcuni sistemi, un'unità per l'input/output di nastri perforati e lettori di schede.

Raramente l'utente ha bisogno del massimo numero di unità, dovrebbe infatti scegliere solo quelle che sono direttamente correlate alla sua attività. Non vi è certo una sola configurazione CAD/CAM: come è da attendersi, il sistema è modulare e le varie unità dovrebbero essere composte nel modo migliore per rispondere alle necessità. Ecco perchè la ricerca di un sistema CAD/CAM dovrebbe partire dai prerequisiti individuati dal punto di vista dell'utente finale. Questi definiranno la struttura base alla quale potranno poi essere vantaggiosamente aggiunti quei componenti non indispensabili.

Inoltre, prima di selezionare le apparecchiature, è assolutamente raccomandabile studiare le esperienze altrui e, sulla base di un'attività congiunta tra utenti e specialisti, realizzare la metodologia. Tutto deve essere fatto per contribuire a capire i problemi ed i vantaggi auspicabili per l'utente e solo dopo creare un primo orientamento verso i tipi di apparecchiature CAD che possono supportare le attività così determinate. Senza una stretta collaborazione tra gli utenti e gli specialisti non si arriverà a conoscere quale è in realtà il problema: essi arriveranno solamente a confrontarsi con vaghe necessità e richieste. Prima di tutto il problema deve essere assolutamente chiaro.

2 — RAGGIUNGERE L'INTERATTIVITÀ

Senza dubbio, la parte più impegnativa nello sviluppo di una metodologia per un sistema CAD/CAM sta nella progettazione del *database*. L'input assume significato solo nel caso che comporti un aggiornamento del suo contenuto ed ogni output trarrà origine da esso.

Vi è una lista di attività preparatorie che devono essere ben comprese e che, se validamente realizzate, possono portare con successo a garantire un buon ritor-

no dell'investimento grazie al rapporto prezzo/prestazioni che implicherà. L'attività di preparazione è fatta dagli uomini e non dalle macchine: certamente sono molti i manager ed i progettatori che si rendono ben conto di ciò e che sono pronti a collaborare per tali progetti. Chiunque sarà in grado di capire che senza di ciò l'uso del CAD/CAM farà la stessa fine di altri insuccessi incontrati con un malaccorto e non organizzato uso del computer.

Riassumiamo i punti fondamentali di quanto detto: mentre in passato abbiamo sviluppato o acquistato svariati programmi applicativi per il calcolo ingegneristico, tutti gli sforzi dovrebbero ora essere incanalati verso lo sviluppo di sistemi per il disegno e la progettazione in grado di usare capacità grafiche. Questa è la risposta più efficiente alle richieste ed ai vincoli postici dalla moderna tecnologia.

Attualmente esistono sofisticati sistemi di computer dedicati ai problemi del disegno e della progettazione in grado di fornire un concreto aiuto in tre direzioni:

- costo,
- qualità,
- controllo della pianificazione.

Le tecniche di progettazione computerizzate ci mettono a disposizione alti, e finora inesistenti, livelli standard di qualità; sono inoltre in grado di aiutare a razionalizzare la produzione ed assicurano uno spettro di funzionalità che sono di supporto ai successi industriali del domani.

Abbiamo parlato dell'importanza che dobbiamo attribuire all'EDB — engineering database. Un EDB è attualmente realizzato con microformati filmati (35 mm e 8 mm), con il COM e con dischi magnetici; domani si imporrà l'uso del disco ottico. Tuttavia già oggi la tecnologia fornisce una gran quantità di mezzi e soluzioni molte delle quali caratterizzate da un buon rapporto prezzo/prestazione.

Apparecchiature e sottosistemi sono stati disponibili per vari anni; l'impegno maggiore, però, per ogni utente (e per ogni possibile utente) non sta nei supporti disponibili e che sono relativamente facili da trovare, ma negli studi procedurali che riguardano il loro utilizzo e nei prerequisiti strutturali necessari per assicurare che se ne otterranno concreti vantaggi.

Per apprezzare l'importanza delle emergenti capacità della tecnica di *databasing,* dovremmo dare un'occhiata indietro alla linea di utenza che caratterizza le soluzioni basate sul computer di carattere interattivo; il terminale da disegno di un tipico sistema CAD/CAM mette un *electronic pen* nelle mani del disegnatore. Operando in questo modo può lavorare con una tavoletta da disegno sensibile alle pressioni della penna, *touch-sensitive,* ed ha a sua disposizione comandi supportati via software quali lo zoom e l'inserzione di linee che automatizzano gran parte del suo lavoro di routine e migliorano il suo rendimento.

L'ingegnere può creare, modificare e affinare il suo disegno interattivamente, osservando il suo lavoro sul visualizzatore grafico. Con il suo *electronic pen* può sfo-

gliare, ruotare, ingrandire, muovere, allungare, copiare ed in generale manipolare i disegni del suo progetto nella loro totalità o in ogni singola parte:

- attraverso una tastiera alfanumerica può inserire le 3 coordinate x, y, z; può inserire testi di annotazione al disegno e fare eseguire comandi di grafica ed elaborazione;
- per mezzo sia dell'electronic-pen che della tastiera, può chiedere al sistema di ritrovare qualunque schema o disegno gli necessiti sia per riferimento o per visualizzarlo;
- può richiamare figure di disegni standard presenti nella sua libreria ed inserirli secondo le necessità;
- può specificare al sistema dove, nel disegno, tali simboli dovrebbero essere automaticamente posti e può assemblare varie parti componenti in una nuova specifica.

Vi sono tipicamente delle attività che vari reparti di ingegneria hanno richiesto al loro management. Nel passato non hanno ricevuto risposte valide in quanto l'ormai attempato (in termini di presenza sul mercato) servizio timesharing non fu progettato principalmente per risolvere tali problematiche. Vi è una grande differenza tra le soluzioni basate sui mainframe, quelle degli anni 60 ed i servizi degli anni 80 basate sui microprocessori.

Con un sistema CAD/CAM saranno archiviati e memorizzati nel database, accessibili alla consultazione, sia i disegni in corso di realizzazione sia quelli già completati. Le capacità della libreria on line aiuteranno ad eliminare le attività manuali di gestione e ricerca dell'archivio; elimineranno la necessità di ridisegnare componenti d'uso comune; renderanno inoltre immediatamente disponibili all'ingegnere visualizzazioni grafiche in softcopies (rappresentazione su video) e in hardcopies (stampa su carta). A partire dalle specifiche funzionali fino a quelle di fabbricazione (Figura 12.1) il disegnatore può operare su grafici che gli sono resi disponibili per:

- produrre versioni in 3D da ogni angolatura desiderata;
- generare visualizzazioni di parti tridimensionali dall'alto, dal basso, di fronte e di fianco;
- ruotare la parte;
- cambiare la scala;
- aggiungere testi di commento ed in genere preparare documentazione;
- preparare la distinta materiali;
- preparare immagini riflesse.

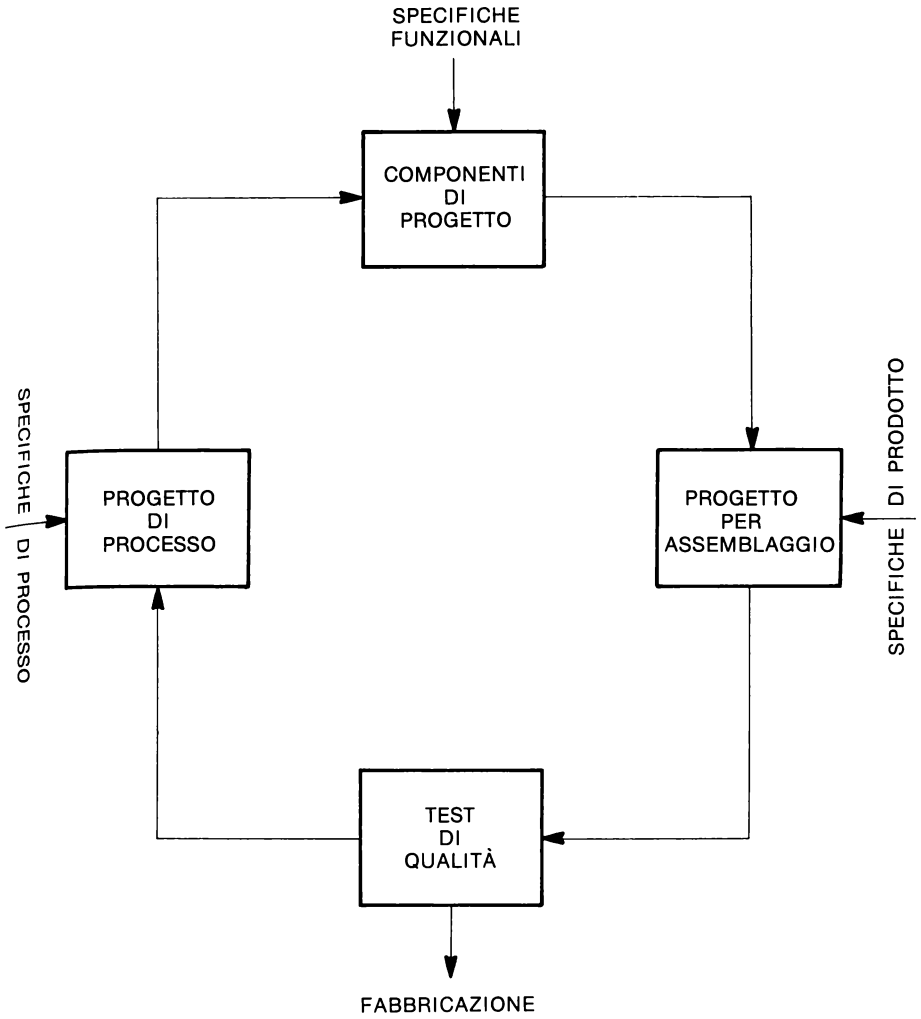


Figura 12.1 — diagramma di flusso che illustra l'interattività esistente tra le parti componenti un progetto, l'assemblaggio, il test di qualità e il processo stesso che deve essere in grado di garantire il rispetto di specifiche prestabilite.

Il CAD/CAM è particolarmente funzionale nel realizzare liste di componenti da destinare al reparto acquisti (cosa che ha sempre costituito un problema), nel preparare i materiali per la produzione, nel preparare specifiche per i controlli di qualità e nel realizzare nastri per le macchine a controllo numerico. I supporti software fan-

no si che il sistema sia "user-friendly" e che il disegnatore possa completare le attività basate sul computer senza conoscere granchè di computer e di programmazione.

Tutti i disegnatori devono assolutamente imparare come comunicare con il database allo scopo di ritrovare e, eventualmente, riassestare disegni in elaborazione; inoltre per gestire le parti standard, per manipolare simboli e segni, produrre testi ed, in generale, realizzare le necessarie attività di disegno e di progettazione. Ritorneremo sull'importantissimo tema del supporto software dopo aver discusso i diversi tipi di terminali grafici proprio per coprire la parte del sistema interattivo che è più vicina alla componente umana.

3 — METODI DI VISUALIZZAZIONE

I terminali a tubo catodico, CRT — cathod ray tube — sono quelli in uso da maggior tempo. Tecnologicamente sono apparecchiature vecchie di 100 anni che richiedono moduli di gestione analogica incompatibili con i circuiti digitali. Anche se in modo del tutto simile a ciò che ha caratterizzato il ciclo di vita delle schede perforate e anche se molti ne hanno predetto la messa in disuso, i terminali CRT resistono soprattutto perchè rappresentano ancora una soluzione economicamente valida alle necessità di visualizzazione.

Tecnologicamente la risposta a queste necessità può assumere varie forme che potrebbero essere riassunte sotto il titolo *metodi di visualizzazione.* Ad esempio la tecnica *Raster Scan* è quella usata per i tradizionali televisori domestici. Il puntatore elettronico si muove da sinistra a destra con immagini rappresentate dall'alto in basso producendo una singola linea orizzontale in circa 67 millisecondi.

Divenendo più comuni i sistemi *Raster,* anche l'uso del colore si generalizza e lo stesso varrà per il settore della hardcopy che è ora emergente grazie al basso costo delle unità. Insieme al colore la tecnologia rende ora disponibili immagini più brillanti che cambiano più rapidamente e nuove possibilità di comunicazione uomo-macchina grazie alle quali, ad esempio, il disegnatore può influire sull'immagine semplicemente toccando la superficie del grande video piuttosto che usare la *electronic pen.*

Lo sviluppo del colore è importante in quanto, di per se stesso, aumenta l'informazione. Molti degli attuali sistemi CAD/CAM si basano sulla tecnica CRT monocromatica con il colore determinato dalla selezione fatta nella fase di disegno. È quindi significativo che sistemi *raster refresh* possono mettere a disposizione dell'utente immagini colorate.

La tecnologia sta aiutando questa transizione. Nei primi tempi la tecnologia raster scan (sistemi televisivi digitali) richiedeva che il computer definisse ogni punto dello schermo e li memorizzasse in una *bit map;* i microprocessori hanno sostituito il computer nella formazione della mappa. Tuttavia uno degli svantaggi di questa tecnica è la risoluzione relativamente di bassa qualità dell'immagine se confrontata alla tecnica *stroke writing* e ad altre soluzioni alternative basate sullo *storage tube.*

La tecnologia *stroke writing* prevede la capacità di realizzare un'immagine muovendo in qualunque direzione, x y, su uno *scratch pad.*

La tecnica *refreshing* è un processo di riscrittura dell'immagine in modo da farla apparire fissa. Tali sistemi possono usare fosfori a lunga persistenza (10-30 immagini al secondo) o fosfori a breve persistenza (30-60 immagini al secondo), a seconda dell'applicazione.

Le differenze portano all'attenzione temi correlati allo human engineering. L'occhio è in grado di ricordare un'immagine per circa 70 millesecondi e se l'immagine non è ripresentata per 2,5 volte il risultato è una percezione di tremolio e d'instabilità. Dunque, dati che cambiano rapidamente richiedono fosfori a breve persistenza mentre apparecchiature destinate a informazioni più statiche dovrebbero usare fosfori a persistenza più lunga. I criteri per scegliere l'apparecchiatura adeguata sono:

- qualità dell'immagine (livello di risoluzione per linea);
- contenuto dei dati;
- caratteristiche di dinamicità;
- operabilità senza ondeggiamenti d'immagine;
- cancellazione selettiva;
- capacità d'operare a colori;
- collegabilità di hardcopy;
- vita in ore del visualizzatore;
- costo totale dell'apparecchiatura.

Per ricapitolare in un sistema CAD/CAM le apparecchiature terminali saranno principalmente del tipo CRT; esse possono essere classificate in grandi gruppi a seconda della tecnica di base: digital TV, stroke refresher, storage solutions. Un'altra possibilità è quella dei video *al plasma.* Mentre con il CAD/CAM possono essere usati differenti *plotter hardcopy online,* per poter invece dare rapide occhiate ai disegni in corso di attuazione o per poter disporre di capacità di disegnare più dettagliatamente l'unità video si rivela la componente principale. È dunque importante scegliere fin dall'inizio il giusto visualizzatore.

Un terminale interattivo CAD/CAM deve avere un'interfaccia verso l'host computer (Figura 12.2), deve assicurare la descrizione digitale di un disegno (accedendo all'EDB centrale o alla memoria locale); deve essere in grado di generare un'immagine fissa e stabile; deve includere un numero di supporti logici necessari per tradurre le istruzioni del computer in operazioni funzionali; deve infine essere in grado di gestire una varietà di apparecchiature di input per comunicare con il computer.

Se l'interattività è un prerequisito, un'altra egualmente irrinunciabile necessità è lo sviluppo e il supporto dell'EDB a cui ci siamo già riferiti; senza di esso un visualizzatore interattivo sarà un esercizio privo di senso. Come ogni altro database, l'EDB

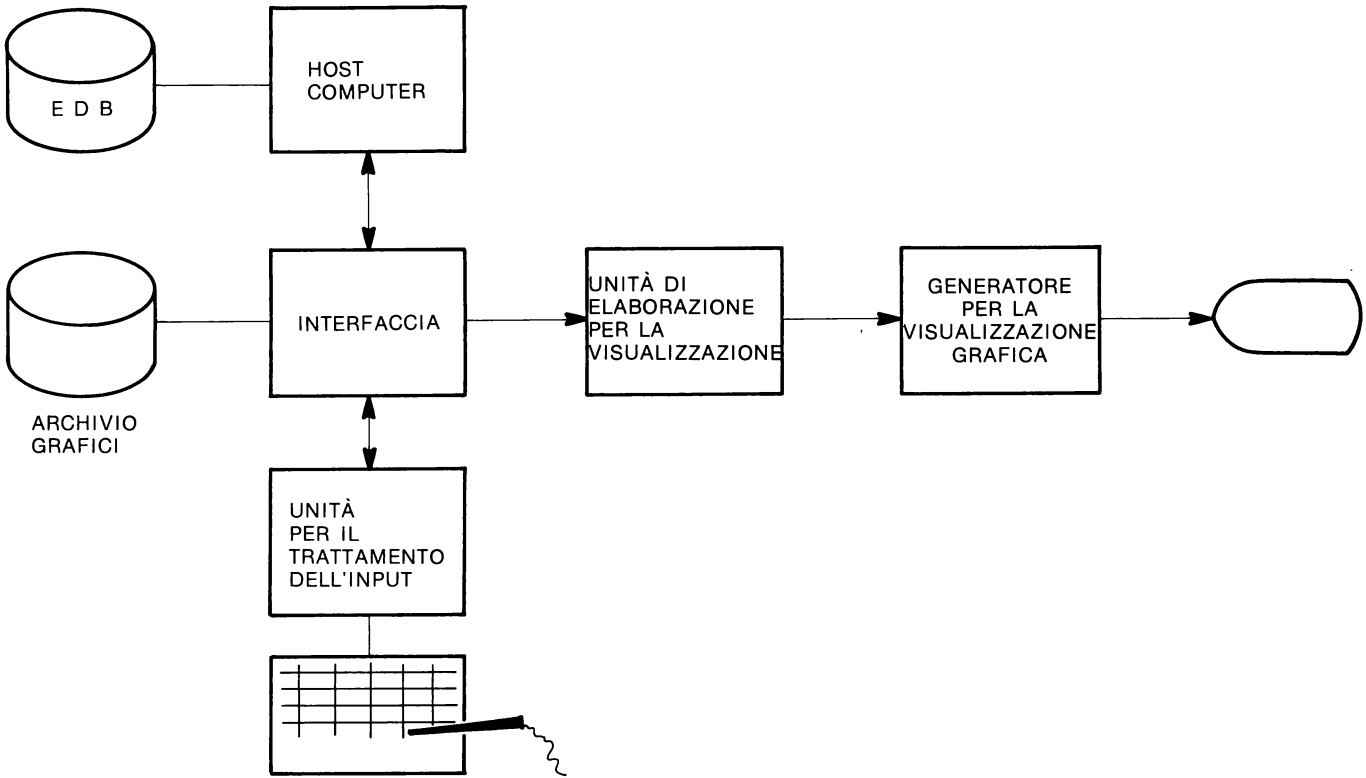


Figura 12.2 — i terminali interattivi per il CAD/CAM devono avere una interfaccia verso l'*host-computer* e l'EDB (*engineering* database); devono essere supportati da un file contenente dati per la visualizzazione ed avere incorporati dispositivi logici e di controllo.

dovrebbe essere una collezione integrata ed organizzata di tutti gli elementi informativi che descrivono i prodotti dell'azienda e le relative fasi produttive, compreso:

- l'analisi ingegneristica,
- la definizione delle parti,
- tutti i disegni,
- una varietà di note e commenti,
- modalità di assemblaggio,
- i processi di pianificazione,
- il progetto della strumentazione,
- le informazioni per il controllo numerico,
- la distinta materiali e
- la relativa documentazione.

Una delle più importanti caratteristiche dell'EDB è che una volta creati gli elementi d'informazione (IE - information element) essi non possono più essere persi e possono essere costantemente aggiornati. La geometria memorizzata, generata da un ingegnere progettatore, può essere usata per produrre disegni e schemi di processi; per progettare nuova strumentazione; per generare linee strumentali destinate alle apparecchiature a controllo numerico; per programmare macchine robotizzate e per organizzare l'ispezione dinamica diretta dei macchinari.

In altri termini, una volta che è stato creato il progetto preliminare attraverso i terminali interattivi ed il supporto software, aggiornando e manipolando gli elementi dell'EDB, possono essere applicati al progetto tutti i tipi di analisi: stress, temperatura, logoramento e tensione, prove di resistenza, ed individuazione di probabili malfunzionamenti per garantirne il ciclo di vita; anche il dimensionamento e lo studio del layout costituiscono altri esempi.

Una complessa geometria tridimensionale può essere suddivisa, grazie a modalità operative interattive, in elementi più piccoli che sono più facili da manipolare, senza perdere contatto con la prospettiva generale. Significativamente le stesse informazioni sviluppate con i terminali interattivi a scopo di progettazione, sono usate per programmare le apparecchiature robotizzate: a partire dalla produzione delle varie parti fino all'assemblaggio finale e alle apparecchiature a controllo numerico, le capacità del CAD/CAM possono essere facilmente estese alla gestione dei servomeccanismi che stanno dietro i robot sia che questo sia usato per trapanare, saldare, pitturare, trasportare o assemblare componenti. Gli stessi robot useranno il trattamento digitale delle immagini visive provenienti dalle telecamere per determinare l'orientamento delle parti su un nastro trasportatore, per afferrarli e per sollevarli, per metterli in assemblaggio e così via.

Il comune denominatore di queste operazioni è l'informazione: la conversione di materie prime in beni finiti richiede un largo ammontare di testi e dati. E questo è proprio quello che offre il CAD/CAM: un sistema basato sul computer che offre capacità di trattamento dell'informazione che può essere di significativo aiuto non solo nei vari programmi di progettazione di un'impresa ma anche, come abbiamo stabilito, per aumentare la produttività dei progettatori e per contribuire a mantenere meglio sotto controllo la qualità del prodotto. Ritorneremo sull'argomento produttività in un paragrafo successivo.

4 — IL SUPPORTO SOFTWARE

Come per tutti i sistemi basati sui computer, il software applicativo è un tema cruciale nell'acquisto di un sistema CAD/CAM: il software dovrebbe essere tenuto in grande considerazione fin dalle prime fasi di valutazione delle alternative per assicurare che le necessità dell'utente finale saranno supportate da valide librerie di software. Questo è tanto più importante perchè la tecnologia è avanzata passando da una grafica rudimentale (linee, archi, output formattato digitale) ad una sofisticazione sempre maggiore che si è sviluppata lungo le linee direttrici di cui abbiamo parlato.

Prima di tutto il sistema deve avere valide capacità di *information retrieval:* deve essere in grado di gestire la libreria delle parti di ricambio, gli archivi di specifiche e le librerie di testi di commento e di documentazione. Vi deve essere il supporto di packages per il disegno e la progettazione, preferibilmente parametrici in modo che le richieste dell'utente possano essere soddisfatte dal software disponibile se non proprio totalmente, almeno in gran parte. Tra le applicazioni software che un'azienda manifatturiera ha trovato fondamentali per l'ingegneria meccanica vi sono:

- i diagrammi della strumentazione,
- la lista degli schemi,
- diagrammi dei cicli e layout delle apparecchiature,
- tavolo di fabbricazione e relative connessioni,
- messa a terra delle apparecchiature,
- dettagli di montaggio delle apparecchiature,
- layout strutturale,
- proiezioni ortogonali,
- distinta macchinari.

Ciascuna di queste aree applicative richiede differenti programmi software di supporto. Ad e esempio, studi sulle proiezioni ortogonali e sull'isometria richiedono software capace di gestire la composizione ed il peso specifico dei materiali. Il softwa-

re CAD/CAM dovrebbe fornire dimensionamenti automatici con possibilità di scelta; le coordinate; flessibilità a fini illustrativi, ad esempio nella rappresentazione su scala. I programmi dovrebbero anche prevedere la possibilità di svelare e rimuovere le linee nascoste in una rappresentazione prospettica unitamente alla possibilità di spostare linee ed interi pezzi rappresentati, cambiando eventualmente anche la loro dimensione.

Un'azienda operante invece nel campo della realizzazione di oleodotti, gasdotti, acquedotti e reti di tubature in genere, con particolare interesse per i modelli 3D ha identificato essere tra le caratteristiche più importanti la capacità di:

- distinguere i punti di partenza e di arrivo nelle reti sia di tubi che di cavi;
- poter misurare le lunghezze in scale disegnabili;
- associare una determinata apparecchiatura con delle date direttrici e linee;
- separare parti di apparecchiature e determinare la direzione dei flussi.

Si trovò ugualmente importante l'orientazione dei componenti in uno spazio tridimensionale per realizzare corrispondenze con i percorsi dei condotti; così si rivelarono importanti anche gli agganciamenti relazionali necessari in realizzazioni di reti, la distinzione funzionale tra differenti gruppi di entità grafiche, la separazione di un singolo modello in livelli logici caratterizzando le relative entità grafiche con descrizioni testuali. La Figura 12.3 presenta lo schema dell'interattività di un sistema tra il software supportato e le maggiori capacità messe a disposizione del disegnatore in termini di proiezione, ottimizzazione e feed-back.

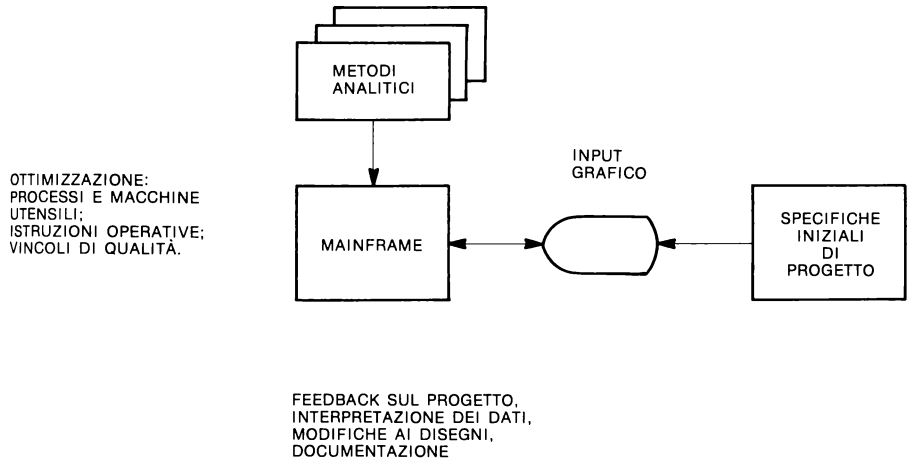


Figura 12.3 — la figura illustra l'intero sistema di interattività tra il software che supporta i metodi analitici e le estese capacità messe a disposizione ai progettisti.

In generale è molto importante che il software provveda all'estrazione di tutti i grafici e dati inseriti durante la creazione di un dato progetto o di un singolo disegno e delle sue specifiche. Una delle applicazioni più frequentemente richieste è la possibilità di manipolare formati definiti dall'utente per correlare i dati estratti con quelli di un altro disegno o addirittura con un altro archivio; questa possibilità è un prerequisito per la generazione online della stima dei costi e dell'elencazione dei materiali.

I sistemi grafici hanno una significativa necessità di poter trattare i testi e dunque l'unità CAD dovrebbe comprendere un valido *text editor* con la capacità di integrare, ordinare e conteggiare le linee di testo, copiarle, cancellarle, ridefinirle ed aggiungerle. Queste caratteristiche sono parte integrante di un valido sistema CAM il cui software dovrebbe prevedere tecniche flessibili per:

- identificazione, inserimento e copia delle entità;
- translazione, rotazione, riflessione e ricalcolo di scala dell'entità;
- capacità controllabili di visualizzazione e di disegno con plotter;
- la gestione di più visioni prospettiche;
- una valida quantità di documentazione;
- varie altre facoltà che dovrebbero essere realizzate online come la generazione della distinta macchinari.

Come esempio di software di supporto al CAD/CAM consideriamo una applicazione che ho avuto modo di seguire da cima a fondo: dalla tipica fase di progettazione all'ingegneria di produzione. Questo è schematicamente illustrato nelle Figure 12.4 e 12.5; la Figura 12.4 illustra poi le operazioni d'interconnessione manuale per la progettazione di circuiti stampati.

Sono visualizzate 14 fasi suddivise in 5 cicli di feedback. Ogni interazione significa correzioni e quindi consumo di tempo ed una gestione dei disegni e della documentazione estremamente soggetta ad errori. I feedback potrebbero essere meglio gestiti con stazioni di lavoro intelligenti e soluzioni basate sul computer capaci di gestire l'EDB con metodi interattivi.

La Figura 12.5 illustra un approccio basato sul computer: il risultato è una soluzione molto pulita capace di eliminare gli interventi manuali ed aumentare la produttività dei disegnatori progettisti.

Data l'interconnessione delle varie attività di disegno, l'impatto delle funzionalità basate sul computer nello studio e nelle proiezioni è più marcato quanto più è il software disponibile e quanto più è completo il database. Gli elementi già memorizzati nel database servono come input ai programmi di disegno e di analisi che assicurano che la soluzione adottata adempia le funzioni desiderate ed operi secondo le specifiche.

Un altro vantaggio consiste nella sperimentazione. Grazie a modalità strettamente basate sul computer ed ai terminali interattivi, i progettatori possono eseguire si-

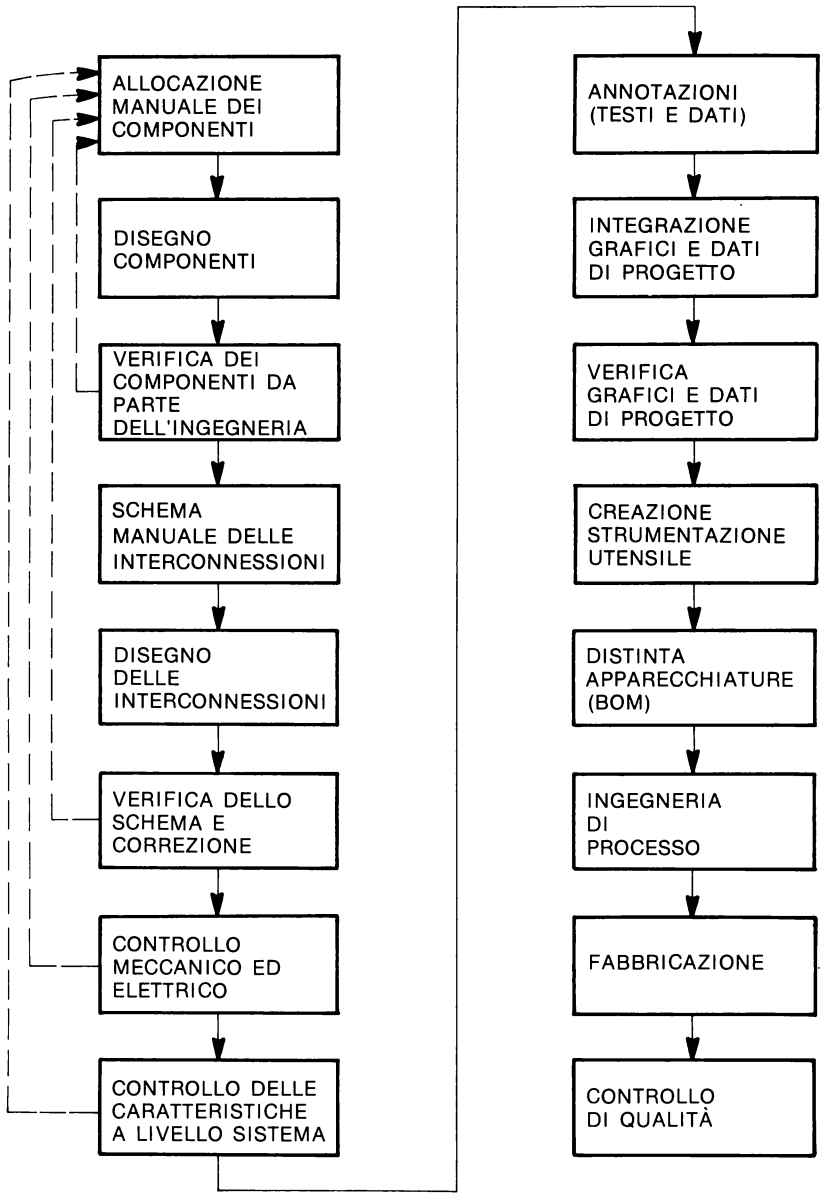


Figura 12.4 — un'operazione d'interconnessione manuale tra gli schemi a circuito stampato. Il numero di *feedback loops* rende di fatto impossibile gestire apparecchiature di grande complessità.

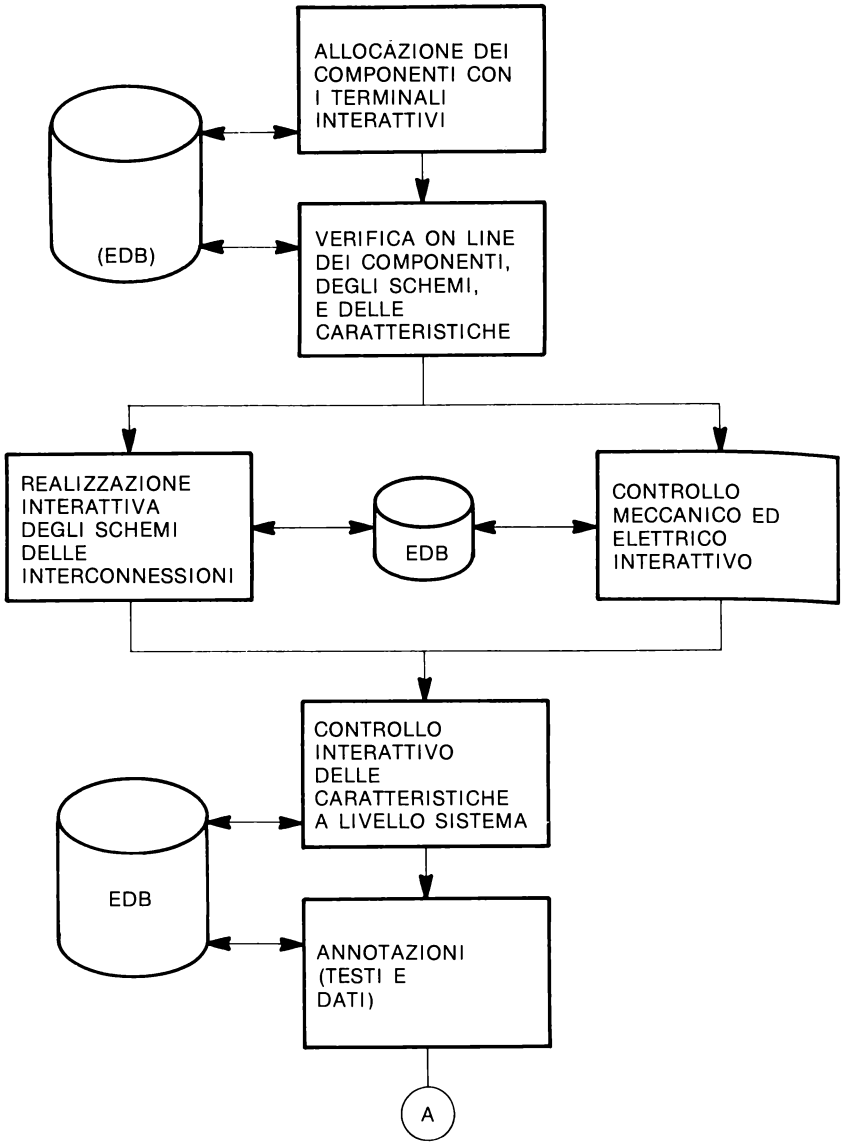


Figura 12.5 — un approccio basato sul computer alla progettazione e disegno delle piastre a circuito stampato. Il CAD aiuta ad eliminare gli interventi manuali, rende possibile l'attività sperimentale ed aumenta la produttività del progettatore.

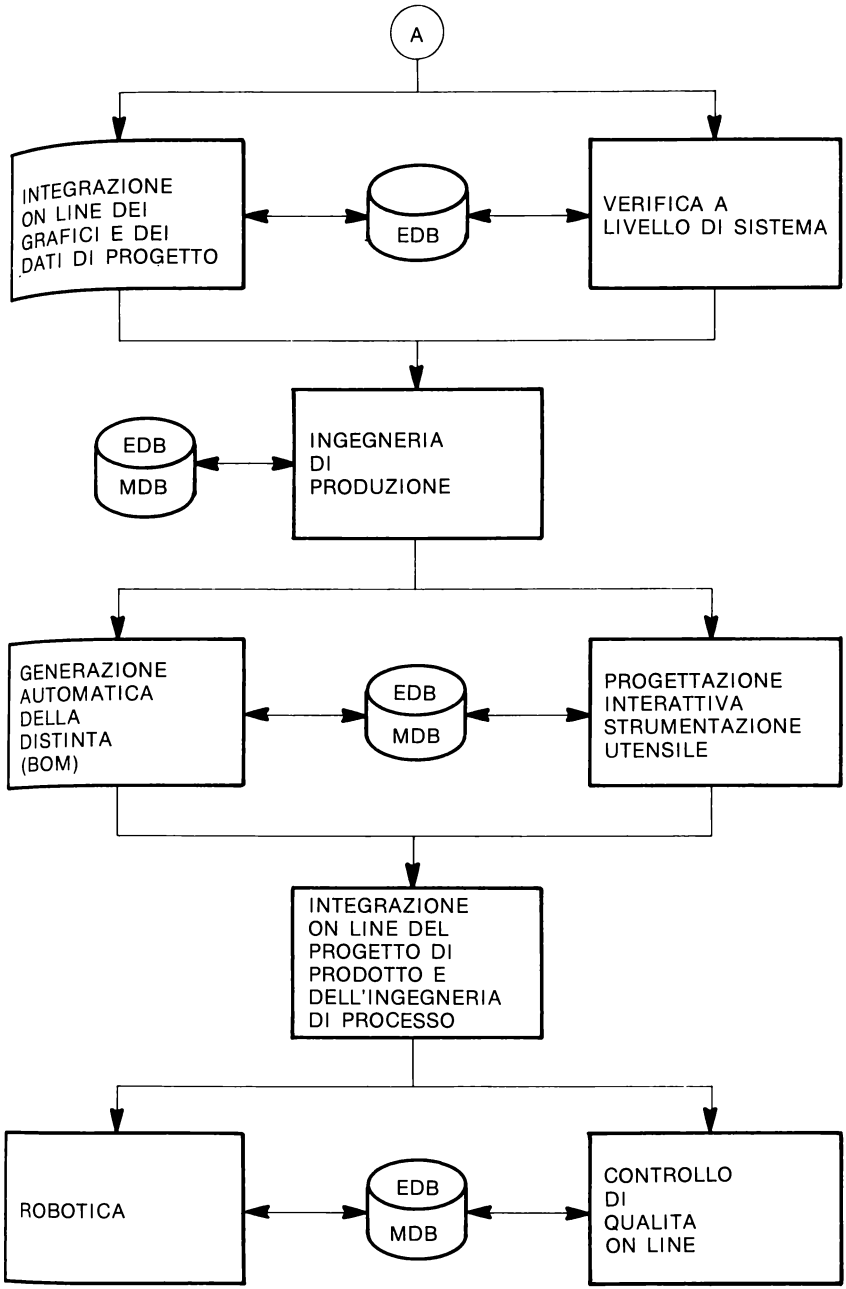


Figura 12.5 — (continua)

mulazioni sia fisiche sia logiche. Con le prime sarà in grado di verificare l'adeguatezza delle specifiche; con le seconde sarà in grado di assicurare che la logica del progetto sia quella voluta. Se entrambe le analisi evidenziano errori o scostamenti, può essere intrapresa un'azione correttiva online. Una procedura del tutto simile è valida per l'ingegneria della produzione; essa aiuta a raggiungere la necessaria precisione per combinare le differenti variabili che sono presenti come risultato di precedenti fasi elaborative.

Inoltre la capacità di operare online può preservare le funzioni fisiche e logiche del progetto; ottimizzare l'area che occuperà ed osservare tutti i vincoli relativi al processo. Il CAD/CAM è di grande aiuto per assicurare che le fasi consecutive combacino esattamente l'una con l'altra e con ciò che è già stato fatto; per dimensionare ed allocare con precisione le regioni di particolare interesse; infine per produrre senza ritardi (che spesso sono dovuti a mancanza di coordinamento o a incompleta documentazione) i disegni del progetto.

Il software del CAD/CAM potrà cambiare prendendo la forma di firmware, a partire dai moduli software di base ed arrivando ad interessare via via la parte applicativa. Questo firmware sarà offerto tanto dai produttori di hardware quanto dai fornitori indipendenti di software, mentre grandi utenti che useranno apparecchiature dotate di EPROM – *erasable programmable read only memory* – potranno progettarselo da loro stessi. Al crescere delle applicazioni emergeranno anche terminali dedicati contenenti il firmware e capaci di gestire validamente elementi personalizzati per l'input specificatamente orientati alle necessità del progettatore riferite al suo ben definito posto di lavoro.

5 – EFFETTI SULLA PRODUTTIVITÀ

La giustificazione finale per ogni spesa in qualsiasi tipo di apparecchiatura dovrebbe essere finanziaria. Questo paragrafo è, di conseguenza, dedicato agli effetti della soluzione CAD/CAM sulle risorse più costose tipiche di un'azienda d'ingegneria: e cioè il tempo dei progettatori. Ricordiamoci di alcuni principi base:

- lo scopo è aumentare la produttività grazie ad una serie di funzionalità realizzate con terminali interattivi che servono come tavolo da disegno al progettista;
- lo stesso scopo è realizzato anche con un data base su computer contenente un notevole ammontare di dati e testi che possono essere usati ripetitivamente e che possono essere ritrovati a piacere;
- l'interattività tra l'uomo e l'informazione è esaltata dai terminali basati sui microprocessori, dotati di capacità grafiche e di trattamento testi unitamente alla comunicazione con l'EDB.

La capacità del CAD/CAM è esattamente quella di manipolare online i disegni, i testi ed i dati dell'ingegneria fornendo così al progettatore un preziosissimo supporto al suo lavoro. Questo è il grande tema che sta dietro le sempre nuove prospettive d'uso del CAD/CAM e del sempre più esteso utilizzo nella moderna industria.

Dieci anni fa, il CAD/CAM era un'area riservata esclusivamente all'elettronica, all'industria aereospaziale ed automobilistica. Le stazioni di lavoro in uso erano probabilmente meno di 200. Ma dopo che il guadagno per la produttività divenne evidente e che si ebbe occasione di stimare in diverse situazioni che certe applicazioni di computer e che la tecnologia strumentale per macchine avanzate avrebbero potuto aumentare il rendimento di un progettatore più del 300%, l'interesse per il CAD esplose. Si focalizzarono anche nuovi approcci riguardanti la produzione con una risultante riduzione di costo del lavoro e di capitale e significativi aumenti della competitività.

Nessuna sorpresa dunque che dal 1980 siano circa 12.000 le stazioni di lavoro CAD/CAM operanti: un aumento di 60 volte rispetto al 1970. Significativamente molte stazioni sono state operative su 2 o anche 3 turni. Nello stesso tempo il numero di utenti è cresciuto dalle poche centinaia del 1980 a circa 25.000 stimati nello scorso anno nei soli Stati Uniti.

Le proiezioni indicavano per il 1981 consegne per un valore di più di 700 miliardi. Questo significativo investimento nel CAD/CAM è destinato ad avere l'impatto maggiore sui progettatori, sugli ingegneri, sugli ingegneri di produzione, sui responsabili per l'approvvigionamento di materiali e sui responsabili di magazzini e finalmente sui responsabili delle procedure per il controllo di qualità in tutte le fasi operative sia di progettazione che di produzione.

Secondo il modo con cui è considerato dagli utenti il CAD/CAM rappresenta uno strumento effettivo per utilizzare la potenza del computer, aumentare la produttività, aumentare la qualità del prodotto, diminuire i tempi di produzione, controllare i costi e migliorare la documentazione. Gli effetti sulla produttività possono essere meglio apprezzati se teniamo ben presente che il CAD può essere usato in un'ampia fascia di applicazioni, comprendenti: la messa a punto dei progetti, l'attività di layout e di mapping, la progettazione della fabbrica, il piping, il wiring e la progettazione di strumenti e di apparecchiature a controllo numerico.

Il CAD può operare sia in 2D che in 3D, automatizzare la fase di disegno, permettere attività di simulazione, aiutare a minimizzare errori ed incongruenze, stimolare l'interesse del progettatore e dell'ingegnere nel lavoro che sta facendo. Sulla base di queste considerazioni la Tavola 12.1 evidenzia alcuni risparmi potenziali tipici realizzabili nella manodopera specializzata, come è risultato ad alcuni utenti.

Questi sono risultati che derivano direttamente da processi interattivi dell'utente che memorizzano, ricercano, manipolano e visualizzano informazioni permettendo all'utente di comunicare con il database e quindi combinare la creatività ed ingegnosità umana con la capacità supportata dal microprocessore. Attraverso il suo video l'utente può chiedere di essere aiutato in qualunque momento della fase di realizzazione del progetto, integrando la creatività con le soluzioni date al problema dal computer ed integrando inoltre il progetto del prodotto con le reali capacità messe a disposizione dalla ingegneria.

I grafici permettono al progettista di osservare istantaneamente sul video ciò che sta creando ad ogni passo del processo ed intraprendere quindi le conseguenti ini-

Tavola 12.1: Guadagni potenziali "tipo" ottenibili con il CAD/CAM

Attività relative alla progettazione	Rapporto di produttività ottenibile
Ispezione e controllo	10:1
Correzioni ed aggiornamenti	10:1
Modifiche ordini all'ingegneria	10:1
Parti di ricambio, distinta macchinari	5:1
Schemi circuitali	5:1
Allocazione ed impaccamento componenti	5:1
Disegni per la produzione	5:1
Disegni per l'assemblaggio	5:1
Diagrammi di interconnessioni	4:1
Schemi per ingegneria meccanica	4:1
Disegni dettagliati di meccanica	4:1
Tracciati di condotti	3:1
Preparazione nastri per il controllo numerico	3:1
Progettazione strumentale	2:1
Studi e calcoli strutturali	2:1

ziative. Con la grafica interattiva il progettista comunica con il computer con lo stesso linguaggio con il quale istruirebbe un altro progettista, ma in modo più preciso e strutturato; è inoltre in grado di intraprendere azioni correttive non solo in merito alle parti elettroniche ma anche a quelle più classicamente meccaniche.

Alcune delle più classiche attività ingegneristiche subiscono ora grande impulso e sono rese più efficienti generando disegni verificati e calcolati con l'aiuto del computer sui terminali grafici; lavoro questo svolto automaticamente fin dal disegno delle parti finite memorizzate nel database comune. È importante rilevare che spesso il CAD viene considerato adatto solo alla ingegneria più moderna, come quella delle piastre a circuito stampato-PCB. Anche se ciò è assolutamente vero, è anche vero che eccellenti risultati sono stati ottenuti con applicazioni CAD/CAM anche nelle più tradizionali discipline ingegneristiche che stanno ricevendo così nuovo impulso.

Parlando della produttività del progettatore questa può essere maggiormente aumentata se si ha particolare cura nel preparare il posto di lavoro (incluso il tavolo per il layout e l'illuminazione) e nel ridurre i possibili disturbi. Un utente CAD/CAM ha suggerito di aggregare separatamente dagli altri quei componenti che danno più disturbo (Figura 12.6) e di far comunicare tra loro i progettisti, che operano sullo stesso sistema CAD, attraverso l'EDB piuttosto che oralmente; che le varie fasi di progettazione dovrebbero essere individuate e seguite dalla macchina; e che l'esperienza dovrebbe essere applicata in modo tale che gli ingegneri e i ricercatori possono interagire con le unità e microprocessori.

È assolutamente auspicabile che lo studio per un'applicazione CAD/CAM copra tutti gli aspetti che riguarderanno, per un buon numero di anni, il lavoro ingegneristico. Un immancabile candidato è la *qualità del prodotto.* Questa può essere suddivisa in caratteristiche funzionali e fisiche:

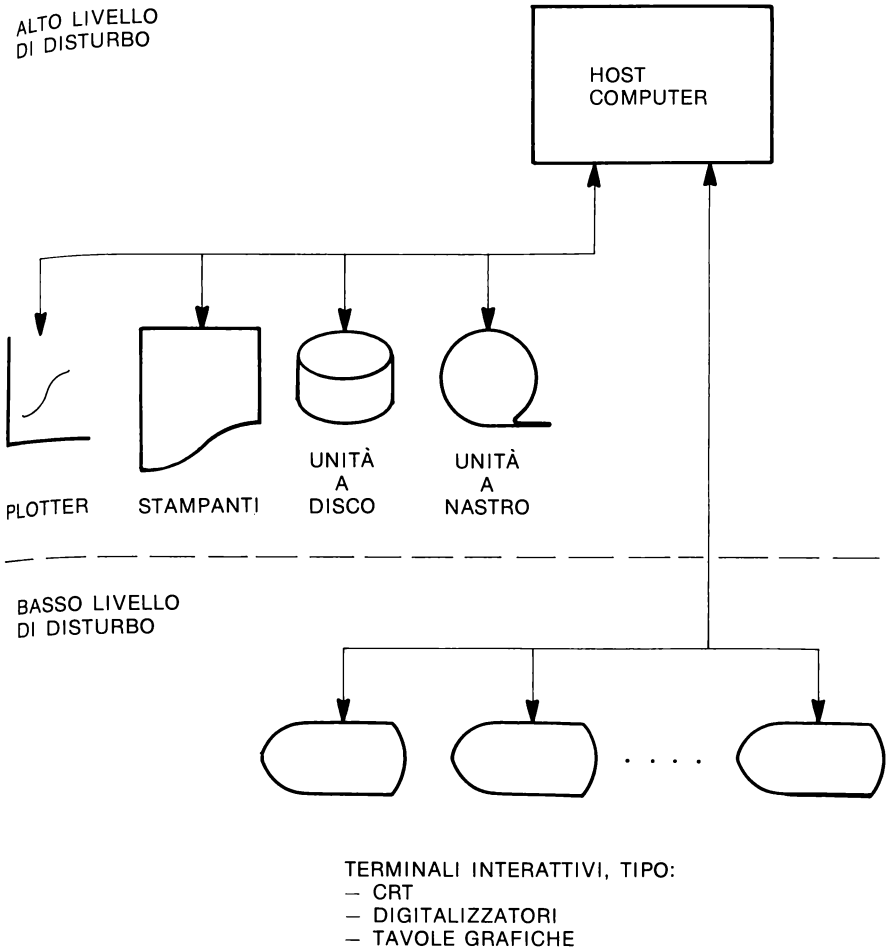


Figura 12.6 — è consigliabile che i componenti generatori di disturbi e d'interferenze siano collocati separatamente; inoltre è opportuno che le comunicazioni tra i progettatori al lavoro sullo stesso sistema CAD avvengano attraverso l'EDB (engineering database) e non oralmente.

- gli attributi fisici vanno dal basso in alto, dalle parti componenti all'assemblato, dal momento che la qualità ha molto a che fare con le tolleranze;
- la questione della qualità funzionale si manifesta dall'alto in basso ed è estremamente correlata al rapporto costo/prestazione, alla lunghezza del progetto, alla possibilità di effettuare manutenzione ed alla praticità.

Sia nell'area fisica che funzionale della qualità del prodotto, il CAD/CAM permette di mettere a punto i parametri del prodotto in tempo reale: i dati di prova in input possono essere elaborati nell'ordine di secondi, operando alla consolle grafica; l'output può essere poi visualizzato o stampato su hardcopy.

Un rapido accertamento della validità di ciascuno dei parametri e l'immediata visualizzazione degli effetti dei cambiamenti apportati, riducono entrambe significativamente il tempo necessario ad un dato progetto ed aumenta di conseguenza la competitività e la commerciabilità del prodotto. Gli effetti sulla produttività poi sono dovuti al fatto che la comunicazione uomo-macchina che avviene alla consolle di un posto di lavoro elimina la gestione manuale e ripetitiva dell'input/output sia esso composto di grafici, testi e dati; permette di ottimizzare le varie attività e permette al progettista di reagire rapidamente a situazioni particolari.

6 — UNA GIUSTIFICAZIONE DEI COSTI

Com'è del tutto ovvio i vantaggi che si ottengono col CAD/CAM devono essere confrontati con il costo dell'investimento. Per stimare il costo di un sistema CAD dovremmo fare ben attenzione ad includere non solo le componenti hardware e le routine software necessarie per far operare le applicazioni, ma anche i costi extra quali quelli di formazione, servizi, manutenzione ed anche del cambiamento dalla pratica fino ad allora eseguita.

Dalla parte dei vantaggi dovrebbe essere considerata la produttività del progettista, l'automazione della attività di routine, il retrieval online, la validità e l'adeguatezza dell'aggiornamento, una valida documentazione di progetto, riduzione di errori e di tempo perso ed una migliore qualità sia del progetto che del prodotto. Ciascuno di questi vantaggi richiede però come prerequisiti studi procedurali ed organizzativi propri per poter concretizzare risultati favorevoli.

Sono i vantaggi che ci attendiamo a definire il sistema che dobbiamo cercare. Tra tutte le varie caratteristiche basilari una soluzione CAD/CAM dovrebbe avere:

- facilità di manutenzione;
- disponibilità di caratteristiche che lo rendono conveniente ad operare con le risorse umane disponibili;
- brevi tempi di risposta;
- regole standardizzate per la gestione del data base;
- valide possibilità di comunicazione tra le stazioni di lavoro che usano lo stesso database;
- responsabili dotati di capacità sufficiente a controllarne l'utilizzo.

Il modo con cui un sistema CAD/CAM può risultare conveniente ad un utente finale è molto importante dal momento che vi sono precise implicazioni sociali e profes-

sionali: lo stesso contenuto del lavoro cambierà visibilmente dal momento che le tavolette intelligenti, le penne elettroniche ed i video-terminali rimpiazzano il tavolo da disegno, procedure di progettazione indefinite e non strutturate diventano standardizzate, attività ripetitive prima svolte manualmente verranno eseguite dal sistema. A loro volta questi fattori, unitamente a nuove problematiche tecniche ed operative, identificano la necessità di una formazione ed addestramento completi e formali: è l'addestramento che potrebbe essere di grande aiuto per superare la resistenza al cambiamento.

Vi sarà minor probabilità di giustificare i costi se le resistenze al cambiamento prevarranno. Si è dimostrato in alcune passate esperienze che alcuni ingegneri e progettatori hanno avuto molta diffidenza del CAD o, addirittura, si sono rifiutati di accettarlo. La necessità di superare tale opposizione è un problema sia sociale che professionale e non è necessariamente legato all'età.

Se la generazione più giovane, venuta a contatto con i microprocessori fin dai primi anni della vita sociale e professionale, non troverà difficoltà ad accettare il CAD/CAM, molti delle generazioni precedenti tendono a persistere nella vecchia pratica manuale, anche se quelli tra loro di vedute aperte, non si sono comportati così.

Si dovrebbe però osservare che almeno parte di questa resistenza è dovuta a fraintendimenti e non conoscenza della questione. C'è l'idea, per esempio, che il CAD/CAM possa limitare la creatività, ridurre la sicurezza del lavoro e fragmentare tutta la professionalità disponibile. In effetti è vero il contrario: se realizzato appropriatamente l'approccio basato sul computer aumenta la possibilità di essere creativo, automatizza le attività standard più banali e rende quindi disponibile più tempo per l'attività creativa. Arricchisce il contenuto del lavoro, richiedendo differenti competenze e professionalità aumentando così il livello del lavoro. Tutte queste osservazioni rendono evidente il livello di attenzione con cui bisogna introdurre un sistema CAD/CAM: devono essere tenuti sotto osservazione sia gli aspetti tecnologici che quelli psicologici. Dal punto di vista tecnico, dopo aver selezionato per tentativi un'apparecchiatura CAD/CAM accettabile, dovremmo eseguire dei test di benchmar per verificarne l'efficienza e la capacità.

Per effettuare una valutazione in grado di dare risultati significativi l'ambiente del benchmark dovrebbe essere identico a quello nel quale si dovrebbe usare la configurazione finale. Mentre dei benchmark realistici possono dare valide indicazioni per la scelta dell'apparecchiatura, troppe sofisticazioni ed elucubrazioni faranno perdere una gran quantità di tempo causando ritardi senza avere risultati apprezzabili: ogni valutazione dovrebbe essere fatta realisticamente e comprendere campioni estratti dalle reali applicazioni.

A partire dalla scelta della apparecchiatura fino all'implementazione effettiva la regola d'oro è quella della preparazione: devono essere presentati gli obiettivi, preparati i piani organizzativi, preparati i dati per i test, i benchmarck devono essere fatti, le scandenze stabilite, elaborati i piani di formazione, considerate e risolte le necessità logistiche per l'installazione.

CAPITOLO 13

LA ROBOTICA

1 – INTRODUZIONE

L'impatto della strumentazione basata sui microprocessori sarà sentita sia negli uffici degli ingegneri che nella fabbrica vera e propria. Vi è una continuità in questo: infatti, una volta in opera, il CAD può benissimo essere collegato on-line al CAM. Allo scopo di lanciare la produttività sono state sviluppate nuove tecnologie per il CAM che comprendono le macchine a controllo numerico – NC. Le punte più avanzate di questo processo sono costituite dalla robotica ed, in generale, dalla gestione dei dati di produzione.

Non è un segreto, ad esempio, che la General Motors ha progettato di installare un totale di circa 14.000 robot negli anni 90 nei propri reparti di produzione. Nel solo 1981 la GM ha aggiunto robot per un valore stimato in 45 miliardi di lire. Al momento vi sono negli USA 50 aziende che vendono o hanno annunciato la propria intenzione di vendere robot. Gran parte di queste sono probabilmente destinate a svolgere un ruolo chiave nel campo industriale.

Sullo sfondo di questa attività c'è il nuovo concetto di re-industrializzazione. Il lavoro è diventato costoso e la gente non vuole più fare lavori di routine. Inoltre la qualità aumenta grandemente con la robotica e le industrie che la utilizzano diventano più competitive.

Il tradizionale settore della ristorazione fortemente basato sul lavoro fornito dai dipendenti, può ben servire come esempio. Vi sono padroni di ristoranti che si lamentano del fatto che i camerieri hanno lavorato come robot ed ai quali forse interesserà sapere che un piccolo ristorante vicino a Windsor, nell'Ontario, sta programmando l'inaugurazione di robot camerieri: La catena internazionale Burgerworld aprirà un ristorante-prototipo in cui lo staff di servizio sarà composto da robot.

I clienti, seduti attorno ad un banco a ferro di cavallo, daranno i loro ordini direttamente al cuoco, in cucina, via strumenti di intercomunicazione. Quando l'ordine è pronto il cuoco programma ogni robot perchè possa portare il cibo. I robot possono portare 4 vassoi alla volta e servire 9 tavoli in 72 secondi, un'impresa difficilmente e-

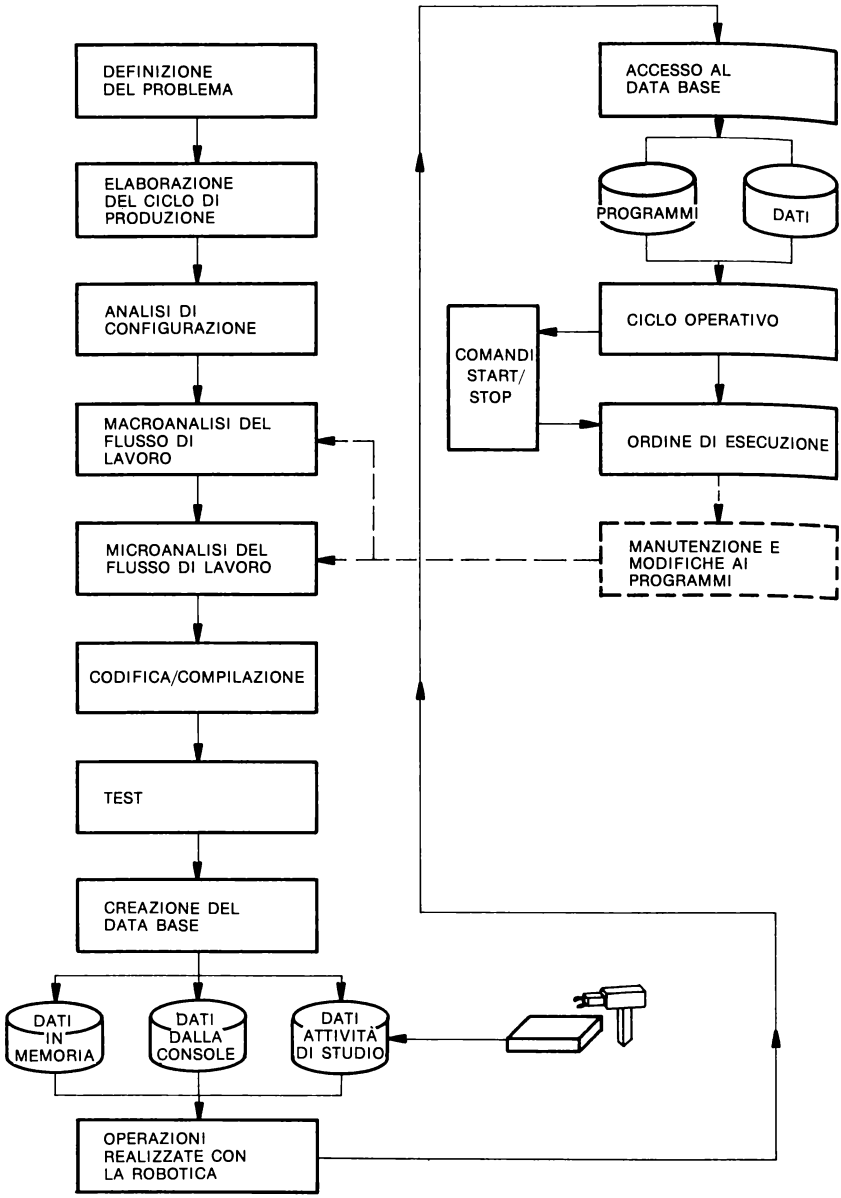


Figura 13.1 — una linea di assemblaggio tipica dei tempi della rivoluzione industriale ed un'altra totalmente automatizzata servita dalla robotica. Il confronto è veramente impressionante per tutte le varie ragioni elencate nel testo.

mulabile dai camerieri. Ogni robot ha teste intercambiabili con differenti luci intermittenti e "personalizzazioni" in modo tale che il cliente non ha a che fare con gli stessi robot tutte le volte. Costano meno dei camerieri, non si danno malati, non chiedono aumenti, non hanno bisogno di prendere il caffè e neppure si lamentano di avere i piedi doloranti.

Un robot è un manipolatore multifunzionale, programmabile, progettato per spostare piatti, materiali, parti di macchine o comunque sue apparecchiature grazie a movimenti variabili e preprogrammati in accordo con la varietà di attività che deve eseguire. Questa definizione fa scartare le più rudimentali macchine di tipo *pick-and -place* e pone invece l'accento sul fatto che il robot controllato da microprocessori o comunque da computer dovrebbe avere un completo dominio di tutte le sue parti componenti.

La Figura 13.1 presenta in poche parole le attività preparatorie che caratterizzano la tipica installazione di un robot. Dalla definizione del problema all'analisi della configurazione, il flusso di lavoro, la codifica, la compilazione ed il test; la creazione del database, l'operatività del sistema robot e il ciclo d'esecuzione che è in una progressione ordinata di attività che somigliano molto da vicino all'esperienza fatta con i computer. Lo stesso poi vale per la manutenzione dei programmi.

I robot sono di vari tipi e di vari livelli di sofisticazioni, come vedremo in questo capitolo. La loro tecnologia è in continuo sviluppo: le industrie però che vogliono aspettare più sofisticate possibilità, quali la sensibilità tattile perderanno le opportunità di oggi. È adesso il tempo di studiare l'utilizzabilità e l'applicabilità della robotica.

Non bisogna dimenticare tuttavia che i robot rappresentano spesso solo una piccola parte dei costi totali di un'installazione. Per applicare la robotica sono spesso necessari, ad esempio, nastri trasportatori; alimentatori ed altre parti strumentali. Accade alcune volte che un robot dal costo di 50 mila dollari rappresenti il 30% dei costi totali.

2 – L'INNOVAZIONE NELLE PRATICHE AZIENDALI

I dirigenti americani più maturi ritengono ora che l'innovazione dovrebbe essere il punto centrale delle loro strategie aziendali. Prese insieme, la competitività degli altri paesi ed il boom della tecnologia elettronica, definiranno un nuovo ambiente di competitività, caratterizzato da un cambiamento tecnologico ancora più rapido.

La tecnologia microelettronica influenzerà pesantemente l'attività di ricerca e sviluppo in molte industrie:

- le capacità interattive messe a disposizione dalla tecnologia dei microprocessori causerà innovazioni dallo stesso punto di vista dei sistemi a disposizione;
- la integrazione avanzata, che tutti si attendono, tra le società basate sui microprocessori con le industrie clienti offuscherà le differenze tra le stesse aziende;
- saranno tre i settori che saranno costretti a riesaminare le loro strategie di sviluppo di prodotto: l'industria elettronica, quella dei macchinari industriali e quella del tempo libero.

Molto dipende dalla legislazione e dalla politica fiscale e di incentivazione. Gli industriali si attendono una revisione di tali politiche per favorire i reinvestimenti; un approccio più ragionevole e consistente per le regolamentazioni, maggiori fondi per la ricerca, sviluppi del sistema di formazione vigente e leggi antitrust meno dure. Se questo contributo governativo atteso si realizzerà, l'industria ed il commercio sono pronti a modificare i loro propri fattori di vincolo trasformandoli in innovazioni, comprese le politiche nella ricerca, influendo sui termini sempre più stretti che limitano i progetti ad alto rischio.

Perchè una politica fiscale per la robotica? Perchè sono i robot la vera sfida, non la tecnologia. Computer, strumenti per le comunicazioni ed altre apparecchiature di moderna produzione sono disponibili in gran quantità e più avanzati che mai. Ma l'industria ha bisogno di incentivi per usarli estensivamente e rifondare la produzione in base a loro.

Si possono portare esempi dal Giappone: il governo ha un programma che, attraverso l'uso di bassi tassi di interesse, incoraggia le aziende ad utilizzare un'automazione avanzata, inclusa la robotica. Le aziende possono ottenere prestiti a tassi di interesse che sono in funzione delle loro dimensioni; in questo modo le più piccole pagano interessi più bassi per poter modernizzare le loro capacità di produzione.

Riassumendo, la ragione per cui tassi bassi per i prestiti e facilitazioni fiscali sono così importanti, sta nel fatto che incentivano la modernizzazione industriale e le stesse possibilità di sopravvivenza in un mondo sempre più competitivo. Nessuna nazione industrializzata può rischiare di essere lasciata fuori dagli imponenti avanzamenti che avvengono nel modo di progettare e di produrre grazie alla robotica. Fatto egualmente importante è che i microprocessori, le macchine strumentali, il CAD/CAM e la robotica racchiudono ed esprimono le prospettive applicative e le opportunità di mercato, con il loro proprio sviluppo.

In che modo una tipica industria manifatturiera può guardare alla robotica? Nell'introduzione a questo capitolo abbiamo dato la definizione proposta dalla *Robot Institute of America.* In tre parole, un robot è un "manipolatore multifunzionale programmabile"; il che significa una combinazione di elementi capaci di afferrare trattenere, collocare, trasportare e "sentire"; ed infine di macchine strumentali controllate dal computer.

Come possiamo classificare i robot per aiutare ad orientare il nostro studio e poter effettuare delle scelte? Si possono distinguere quattro livelli, come è specificato dalla JIRA – Japanese Industrial Robot Association:

1. manipolatori di tipo manuale che effettuano sequenze fissate e predeterminate;
2. *playbacks* che ripetono istruzioni fisse;
3. robot a controllo numerico che eseguono operazioni secondo informazioni fornite loro numericamente;
4. robot intelligenti che operano attraverso le stesse capacità di riconoscimento.

Un robot può effettuare una quantità di attività, ma possiede delle capacità specifiche. La sua principale qualità sta nella possibilità di adattarsi a differenti compiti. Quando lo si installa, diventa subito il punto centrale. Accende e spegne le apparecchiature, esegue controlli per verificare che operino correttamente, assicura l'ispezione delle parti e fa essenzialmente ciò che un uomo deve fare nello svolgimento delle stesse operazioni.

Sparisce la massa di operatori e con essa i supervisori. Le apparecchiature meccaniche per la trasmissione di potenza sono state sostituite da altre elettriche ed elettroniche, ed il "cervello" che sta dietro alle macchine è ora il microprocessore.

L'accuratezza è molto importante sia nella programmazione che nella conseguente esecuzione; a sua volta per l'esecuzione è fondamentale la velocità. Una caratteristica di tendenza importante per il futuro sta nella capacità dei robot di adattarsi a mutamenti ambientali.

Una questione basilare è poi l'affidabilità. Varie aziende produttrici di robot indicano tipicamente un MTBF — Mean time between failures — di 500 ore, anche se alcune installazioni hanno raggiunto un MTBF di 2000 ore. Vi è almeno un costruttore di robot che dichiara che le sue macchine sono state operative per più di 90.000 ore, il che significa 45 anni uomo. Dal punto di vista applicativo però è ancora troppo presto per poter disporre di una solida documentazione statistica.

Tuttavia una certa esperienza strutturale può essere ricavata da altri prodotti come i missili, i computer ed il controllo di processo. L'affidabilità richiede a livello di progetto un partizionamento funzionale dei sottosistemi modulari, nuove procedure orientate al computer per funzionalità essenziali di controllo unitamente alla protezione ambientale. Il software dev'essere pronto per analizzare i dati in input, valutare un campionamento degli errori e generare i feedback di controllo.

La affidabilità richiede inoltre un sistema di backup.

Dal punto di vista della tecnologia di base, vi sono essenzialmente 2 classi di robot: servo — e non servo — controllati;

- i robot servocontrollati possono generalmente essere programmati per fermarsi a qualsiasi punto all'interno del proprio raggio d'azione, sono inoltre in grado di accelerare e di decelerare;
- con i non servocontrollati, il centro della strumentazione può bloccare solo in pochi punti su ciascun asse.

Vari movimenti possono essere realizzati in sequenza con una apparecchiatura non servo controllata, ma solamente ai punti finali e senza la possibilità di accelerare o decelerare.

La maggioranza dei robot industriali installati oggi negli Stati Uniti sono apparecchiature di tecnologia mediobassa, come i manipolatori *pick-and-place*. I più semplici manipolatori *pick-and-place* offrono usualmente 2 o 3 gradi di libertà. I robot di medio livello tecnologico sono progettati per applicazioni tipo la verniciatura spray.

Una delle maggiori applicazioni dei robot più grandi sta nella saldatura a punti, dominante nell'industria automobilistica. Applicazioni simili sono la saldatura ad arco, l'assemblaggio, la pressatura e la gestione dei materiali. I gradi di libertà che la corrente tecnologia permette con i robot sono illustrati nella Figura 13.2: sono una stretta emulazione di ciò che farebbe l'operatore umano.

Anche i robot a tecnologia mediobassa possono operare meglio degli operatori umani. Trascurando pure il lavoro monotono e pericoloso, anche sul solo piano della velocità e dell'accuratezza nessun operatore umano può raggiungere i risultati ottenibili con un robot. Il *Robot Institute of America* prevede che le vendite di apparec-

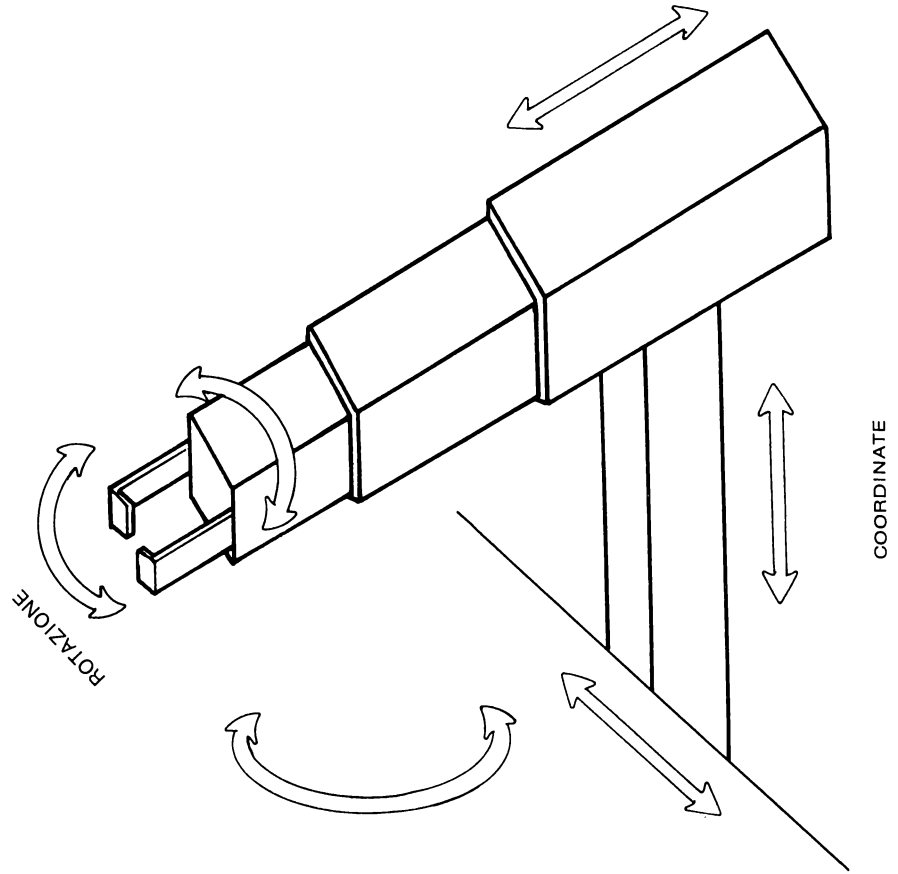


Figura 13.2 — gradi di libertà di un robot.

chiature per la robotica aumenteranno dai circa 70 milioni di dollari del 1980 a 255 nel 1985. La Tavola 13.1 fornisce una panoramica sulle statistiche riguardanti le installazioni attuali.

Tavola 13.1: Stima dei robot installati

Paese	Numero	%
Giappone	7.500	59.0
Usa	3.200	25.0
Europa	2.050	16.0
Totale	**12.750**	**100.0**

Le installazioni europee sono approssimativamente cosi suddivise:

Germania Occ.	1.000	7,8%
Svezia	400	3,2%
Francia	200	1,5%
Inghilterra	200	1,5%
Italia	100	0,8%
Svizzera	50	0,4%
Olanda	50	0,4%
Danimarca	50	0,4%

3 – LA RICERCA SULLA ROBOTICA

La ricerca in questo settore è attualmente tesa verso 2 linee di sviluppo:

- capacità sensoriale,
- programmazione offline.

La capacità sensoriale ha tre componenti: la forza, con applicazioni in operazioni di fissaggio; la componente tattile sia per posizionare che orientare; la capacità visiva con applicazioni nel posizionamento, nell'ispezione e nel monitoraggio.

Nel caso della Western University la previsione è che vi sarà un grande impegno negli anni 80 per sviluppare la sensibilità tattile; uno sviluppo del tipo simile seguirà nel decennio seguente per quanto riguarda la capacità visiva. Queste capacità sensoriali permetteranno al robot di lavorare con oggetti non orientati. La capacità tattile, sensoriale sarà molto importante se vogliamo che i robot:

- non danneggino le parti,
- completino l'attuale visibilità bidimensionale aumentando la fascia di sensibilità;
- trattando ed infilando correttamente le parti.

Metodi primari di programmazione sono:

- *lead through:* l'operatore controlla il robot attraverso posizioni e localizzazioni volute per mezzo di un *remote teach box;*
- *walk through:* dove il robot viene fisicamente manipolato per avere i movimenti voluti;
- *plug-in:* il robot opera con programmi preregistrati senza intervento manuale.

La programmazione online implica:

- agire sui bracci del robot,
- metterlo in "program mode",
- seguire una sequenza di attività elementari, necessarie al robot,
- memorizzare su un adeguato supporto come i floppy, i dischi, i nastri, le cassette ed, ancor meglio, la memoria a bolle.

La velocità non è rilevante in "programming mode", anche se è in "execution mode". Un'attività non trascurabile deve poi essere svolta per il controllo del robot; l'attuale tecnologia prevede spostamenti sia punto a punto che continui. Con il primo un robot può essere programmato affinchè si fermi in vari punti predeterminati ma tra tali punti non vi è alcun controllo del movimento. I robot punto a punto offrono grande accuratezza nella ripetitività. Un robot capace di spostamenti continui può invece seguire con esattezza una linea irregolare.

Un robot industriale deve essere un'apparecchiatura pratica e questo implica flessibilità applicativa, affidabilità e disponibilità; richiede inoltre facile apprendimento grazie a possibilità di programmazione sia online che offline. Il punto di vista economico sarà evidentemente il fattore predominante in termini di accettazione. Se l'effetto della robotica comportasse una significativa riduzione annuale dei costi di produzione allora i robot computerizzati potrebbero essere rapidamente accettati ed ammortizzati; questa, del resto, è l'esperienza che si ha con il computer.

Sulla base di tali attese, ad esempio, la General Electric sta iniziando un radicale piano d'automazione che potrà portare alla sostituzione di metà dei suoi 37.000 operai addetti alle linee di assemblaggio con robot. Anche le principali industrie automobilistiche hanno già introdotto i robot per gestire una gran parte delle loro fasi di subassemblaggio. Se vi fosse un'accelerazione di tale tendenza i robot potrebbero rimpiazzare qualcosa come il 70% della forza lavoro attualmente impiegata nella produzione industriale. Soluzioni di questo genere, per radicali che possono essere, sono fondamentali per la sopravvivenza.

Le General Motors ha annunciato che tra il 1981 e il 1984 vorrebbe installare robot industriali per una quantità variabile tra i 1000 e i 1800, secondo il suo programma di modernizzazione riguardante soprattutto il lavoro di saldatura delle scocche.

Questo è più di quanto l'intera industria automobilistica americana abbia usato negli ultimi 20 anni.

Di particolare interesse è una nuova linea di robot prodotta dalla Unimation, chiamata *Puma - programmable universal machine for assembly -*. La sua progettazione parti da uno studio della General Motors che trovò che il 90% delle parti che compongono le automobili pesano poco più di 2 Kg. Il Puma venne in conseguenza ad una richiesta di un *tender,* destinato ad una macchina, con dimensioni all'incirca analoghe a quelle del braccio umano e che avrebbe dovuto alzare pesi variabili dai 2 ai 3 chili per semplificare l'attività di assemblaggio.

In Giappone una linea operante in un'industria automobilistica ha 84 differenti tipi di robot, grandi e piccoli, che eseguono qualcosa come 1500 punti di saldatura per macchina. Vicino a questa linea che tratta una macchina ogni 53 secondi ce n'è un'altra dotata ancora di 84 robot.

Anche trascurando la loro influenza in termini di capacità di produzione in relazione alle loro stesse caratteristiche, i robot fungono anche da catalizzatori nel cambiamento delle metodologie di produzione che sono, del resto, diventate obsolete con il passare degli anni. Gli studi fatti per valutare e rivitalizzare le linee di produzione hanno portato alla luce statistiche sull'utilizzo dei macchinari che hanno sorpreso molti ingegneri.

Un esempio ci viene dalla Cincinnati Milacron riguardanti il movimento delle parti attraverso la fabbrica. È stato rilevato che solo il 5% della vita in fabbrica di una parte componente viene spesa sulla macchina sulla quale viene addebitato il relativo valore. Di questo 5% il 3% è speso solamente adattando tale parte. Il resto è tutto tempo morto. La risposta ovviamente sta in una valida gestione dei materiali che diventa poi fondamentale quando entrano in gioco i robot.

4 – ROBOTICA E PRODUTTIVITÀ

Le capacità visive sono generalmente considerate basilari per la realizzazione di robot efficienti e capaci in quanto essi devono essere in grado di intervenire su irregolarità come quelle che si possono manifestare nelle parti in arrivo alla stazione di lavoro e cioè componenti fuori sequenza o danneggiati. Altrettanto importante è la sensibilità tattile che si realizzerà con mani meccaniche capaci anche di stringere. I robot possono misurare il posizionamento durante l'assemblaggio e le capacità programmate permettono loro di effettuare calcoli di tendenza nel caso che un processo debba essere alterato.

I robot industriali sono capaci di operare 24 ore su 24 ed in tal modo ingigantire le conseguenze ed i vantaggi ottenuti con l'investimento di capitale fatto. Non si stancano, aiutano a ridurre il numero di prodotti difettosi, incrementano la durata della vita effettiva degli strumenti, permettono economie nei processi di verniciatura, prevengono gli incidenti industriali e le malattie professionali, risolvono i problemi cau-

sati dal fatto che sono sempre meno i lavoratori che accettano un lavoro semplice e monotono. Tipicamente le applicazioni variano dalla pressatura, dalla gestione delle colate alla forgiatura, operazioni in fornace, saldature, verniciatura spray, trasporto, adeguamento strumentale, modellazione della plastica fino ai servizi di riconoscimento vocale.

È del tutto evidente che gli sviluppi non si fermeranno qui. La prossima generazione prevederà robot pensanti capaci di integrare sistemi sensoriali con un più sofisticato software il quale li metterà in grado di prendere decisioni invece di limitarsi a considerare le parti una per una. Tali robot avranno tipicamente la capacità discrezionale di:

- prendere delle parti da recipienti in cui sono ammassate casualmente,
- esaminare ogni parte per rilevarne eventuali difetti,
- decidere di utilizzare una parte o di rifiutarla dopo aver analizzato gli eventuali difetti rilevati.

Se le analisi effettuate sulle percentuali di difetti riscontrati su un periodo abbastanza lungo indicano la necessità di un'azione correttiva, il robot potrebbe comunicare con il computer che supervisiona la produzione della parte in questione e che gestisce quindi il controllo di qualità, lo stoccaggio e l'immagazzinamento. È proprio grazie a queste capacità che i robot intelligenti potrebbero sostituire qualcosa variante tra i 2/3 e i 3/4 dell'attuale manodopera industriale e farne il rispettivo lavoro meglio e più rapidamente, con costi minori e con minori inconvenienti. Questo anche se un'industria senza operai non significa che sarà anche totalmente priva della componente umana.

Mentre la robotica si accollerà le attività che erano precedentemente assegnate agli operai, lavoratori ed impiegati dovranno essere trasformati per gestire meglio altre fasi di lavoro assumendo la responsabilità di funzioni a più alto livello. In questo senso la robotica si rivela un'occasione sia per la sopravvivenza industriale che per elevare il livello professionale. Per restare competitive le industrie stabiliscono che devono aumentare la propria produttività di un tasso del 6% all'anno; il piano strategico per raggiungere tale obiettivo richiede massicce installazioni di robot ovunque la tecnologia lo permette. "Per ciascun dollaro speso nella robotica se ne risparmiano 3 ogni anno" ha avuto occasione di dire un utente; questo mi ricorda che all'UCLA ho avuto un professore che usava dire: "Un banchiere sarà felice di spendere un dollaro se potrà ottenerne indietro 2".

La produttività è il tema cruciale. Negli ultimi 10 anni la produttività americana è cresciuta del 23% mentre quella giapponese è balzata dell'89%. L'impatto sull'economia americana si è manifestato con l'inflazione e con l'importazione di un numero sempre maggiore di prodotti: dalle automobili agli apparecchi televisivi. La robotica promette di cambiare radicalmente il modo di lavorare nell'industria, per raggiungere una miglior produttività ed una conseguente struttura più competitiva; questo mentre avverrà anche l'automazione degli uffici. Una delle aziende giapponesi più a-

vanzate tecnologicamente sta facendo un passo verso la realizzazione di una fabbrica senza operai. Nel gennaio 1981 la Fujitsu Fanuc Ltd. avviò un impianto da 38 milioni di dollari che usa robot e macchinari a controllo numerico per produrre altri robot e altri strumenti computerizzati. Durante il primo anno di produzione la nuova industria ha impiegato appena 100 lavoratori per produrre un centinaio di robot al mese ed un gran numero di macchine a controllo numerico; questo è solo 1/5 del numero di addetti che sarebbe servito ad una fabbrica convenzionale per fare lo stesso lavoro. La Fujitsu Fanuc ritiene di essere in grado, a partire dal 1986, di produrre circa 4 volte l'attuale numero di robot e di macchine a controllo numerico in una nuova fabbrica con soli 200 addetti (1/15 della manodopera necessaria ad un'equivalente azienda non automatizzata).

La fabbrica completamente automatizzata opererà 24 ore su 24 e con intervento umano per sole 8 ore al giorno, durante la fase di assemblaggio delle parti realizzate dai robot e dalle macchine a controllo numerico. Ogni posizione sulla linea consisterà di un robot e di una macchina a controllo numerico, collegati ad un deposito automatizzato; quest'ultimo verrà automaticamente alimentato ed invierà, altrettanto automaticamente, le varie parti alle giuste posizioni grazie al controllo di un computer. La macchina a controllo numerico toglierà e modellerà il pezzo e quando sarà pronto lo ricaricherà su un nastro trasportatore per rimandarlo al magazzino o ad un'altra posizione per essere ulteriormente lavorato.

5 – UN APPROCCIO INTEGRATO

Nel mondo industriale le industrie automatizzate sono le più avanzate nell'uso della robotica; i maggiori sforzi di ricerca sono avvenuti alla General Motors, Standford, Fujitsu e Toyota. Grazie all'automazione, a parità di output prodotto una fabbrica Toyota occupa metà spazio di una tipica industria automobilistica americana; richiede inoltre solo un terzo dell'investimento di capitale e solo il 15% del magazzino.

Prendiamo un altro esempio: la fabbrica più automatizzata della Nissan Motors produce 72 auto per un mese uomo. Invece i produttori ancora semiautomatizzati di Detroit raggiungono una capacità massima di 41 auto per mese uomo. Chi ha le maggiori possibilità di sopravvivenza?

Un modo diverso per sostenere queste tesi consiste nel dire che la robotica, sia pur benvenuta e necessaria, non fa di per sè stessa tutto il lavoro; dobbiamo utilizzare un approccio integrato: gli investimenti di capitale creano la necessità di un maggior lavoro professionale e di ricerca e richiedono nello stesso tempo che tali nuove situazioni caratterizzate da alti livelli d'investimento siano gestite verso la ricerca di una maggior produttività. Un settore nel quale i cambiamenti saranno rivoluzionari è quello delle comunicazioni. Il software per le comunicazioni destinato ad interconnettere computer è progredito dalla epoca delle semplici capacità batch ed interattive fino a reti più sofisticate:

- non per molto ancora le comunicazioni saranno limitate al movimento di dati tra computer;
- il software di rete permette a più sistemi di essere tra loro strettamente connessi per una completa suddivisione delle risorse;
- nuovi tipi di soluzioni permettono di integrare testi, dati, immagini e voce per una maggiore efficienza;
- le nuove soluzioni nel campo delle comunicazioni potranno avere grande influenza sulla produttività.

Devono essere considerati sia i fattori fisici che logici dal momento che interagiscono tra loro; dobbiamo cercare una soluzione al problema e non solo dell'hardware e del software: i computer fungono da amplificatori delle persone e dell'organizzazione in cui sono inseriti. I vantaggi derivanti da una maggior qualità e da un minor tempo necessario alla circolazione dell'informazione rendono più semplici i processi decisionali ed aumentano la produttività. Si tradurranno sorprendentemente presto in maggiori risparmi e guadagni, anche se dobbiamo operare su scadenze medio-lunghe.

Il significato incluso nella capacità di usare effettivamente la tecnologia dei microprocessori sia con i prodotti che con i processi può essere ben illustrato da un esempio: in seguito alla sempre maggiore competitività le necessità dell'industria automobilistica in termini di affidabilità, lunghezza di vita del prodotto, tolleranze di temperatura e di vibrazioni sono simili alle caratteristiche che il Ministero della Difesa Americana ha stabilito per aerei e navi; i vincoli sono severi nello stesso modo e la sola differenza è che il mondo della industria automobilistica di Detroit vuole comprare i componenti per un prezzo variabile tra 1/10 e 1/100 rispetto a quello di listino. In termini numerici 10 milioni di auto all'anno, ognuna con qualche microprocessore può significare alti livelli di consumo in confronto all'industria elettronica dei computer che rappresenta oggi circa 1/3 del mercato dell'elettronica.

L'industria automobilistica si rivelerà grande consumatrice di microprocessori.

L'implementazione delle capacità dei microprocessori dovrebbe coprire l'intera fascia che va dai robot alle bilance; e tutto questo richiede capacità di dataprocessing, databasing e datacommunication. Questo più ampio approccio si rivelerà in una tendenza accelerata verso i sistemi di informazione totalmente distribuiti in grado di portare la capacità e la potenza del computer a ogni posto di lavoro. Perchè mai l'utente dovrebbe rinunciare ai vantaggi ottenuti applicando i risultati e le conoscenze che cominciano ad arrivare in seguito a esperienze felici ed infelici nella applicazione delle capacità dei microcomputer nelle attività industriali e commerciali?

Riconsideriamo alcuni punti fondamentali. L'espressione *distributed system* viene usata nella letteratura corrente per denotare un assortimento assolutamente vario di tipi di computer, a partire dai prototipi ricavati da moduli a livello VLSI, attraverso combinazioni omogenee ed eterogenee di micro, mini e maxi, fino a configurazioni

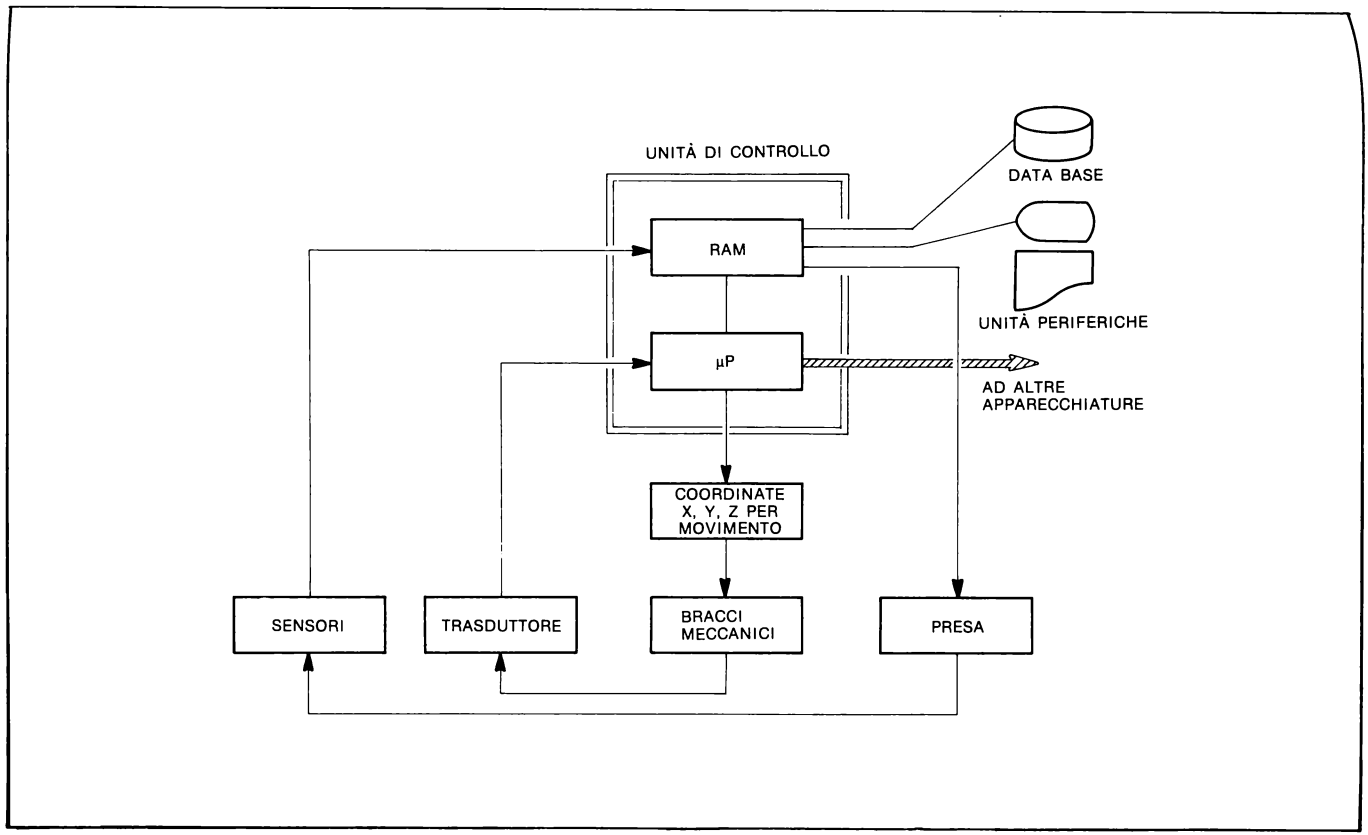


Figura 13.3 — Schema della struttura funzionale di un robot con il collegamento al database, al video di controllo e ad altre unità periferiche.

che includono i rigidi accoppiamenti tipici di multiprocessori e le più estese reti di sistemi di computer autonomi. Il termine *distribuito* ha significati diversi a seconda delle circostanze? oppure vi è un comune denominatore tra concetti che appaiono diversi?

Se consideriamo le risorse di un computer in base alle funzionalità piuttosto che in base al suo hardware, software e firmware, un'architettura distribuita di computer può essere pensata come una collezione di risorse operanti in sincronia allo scopo di raggiungere determinati obiettivi. L'essenza di questa definizione sta nel porre l'accento sulle *funzionalità:* gli aspetti importanti di ogni sistema o dei suoi componenti consiste in ciò che il sistema stesso fa e non in come lo fa; e questo vale sia per gli uffici che per l'industria.

I recenti progressi nelle tecniche VLSI e la disponibilità di potenza elaborativa a basso costo hanno portato i progettisti ad esaminare il comportamento funzionale dei computer, con l'ottica di dedicare potenze elaborative a particolari funzionalità e per ritagliare ogni fase dell'elaborazione ai particolari scopi a cui è destinata. Si ha di conseguenza l'idea di una collezione di differenti risorse operanti insieme; quest'ottica è valida solo quando studiamo il sistema e le sue componenti sotto un'ottica indirizzata all'integrazione.

L'architettura di un sistema-robot (Figura 13.3) osserva questo principio: integra il computer, il controllo di processo e il controllo numerico e, come sappiamo, il bagaglio di conoscenze in questo campo è significativo. Ciò che ancora necessita di essere sviluppata con i sistemi di robot è l'esperienza applicativa; i componenti comunque esistono e poggiano su solide basi.

Bisogna tenere ben presente che tali approcci sono stati adottati a vari e differenti livelli di costruzione e progettazione di sistema, portando le funzioni supportate dai microprocessori al loro giusto livello: e cioè dove il lavoro deve essere eseguito. Funzionalmente vi possono essere varie soluzioni, a seconda delle necessità del lavoro; per conoscere però esattamente ciò che è richiesto dobbiamo studiare nel modo più completo l'intero spettro di possibilità:

- al livello più basso un sistema distribuito può essere un microprocessore dedicato a far operare una componente funzionale;
- al successivo livello il sistema distribuito può consistere di microprocessori funzionali interconnessi tra loro e dedicati a far operare macchine strumentali standalone;
- al successivo e più ampio livello un sistema distribuito può consistere di processori multipli programmabili che interconnettono apparecchiature dedicate alla fabbricazione ed allo stoccaggio in un sistema completo.

Il sistema che contiene varie capacità di calcolo, dai computer general purpose fino ai microprocessori, deve assicurare che, anche se essi sono fisicamente separati, comunichino effettivamente tra loro grazie a canali efficienti e quindi che essi

formino un aggregato coerente. Vi sono dei fattori economici fondamentali alla base di questa filosofia. Sia nel campo industriale che nel terziario, i relativi vantaggi dell'approccio centralizzato non possono persistere a lungo e la loro decadenza si è già rivelata negli anni 70. Tale decadenza, come si sa, include: un pesante overhead per la supervisione; una crescente complessità che porta all'inaffidabilità; inefficienza nel rispondere a carichi di lavoro non standard; notevoli fluttuazioni nei tempi di risposta dovuta alla suddivisione delle risorse e all'overhead.

Tali svantaggi sono stati in passato accettati a causa degli alti costi dei centri per l'elaborazione dei dati: la maggiore necessità consisteva nel mantenere i costosissimi sistemi di computer utilizzati al 100%. Ora, grazie alla capacità dei microcomputer di portare la potenza elaborativa direttamente dove serve, al posto di lavoro, la tendenza è verso sistemi distribuiti che impiegano microprocessori come elemento trainante.

I numeri possono parlare meglio delle parole nel dimostrare l'impatto che questo approccio è destinato ad avere sul posto di lavoro. Nella prima parte del libro ci siamo riferiti al fatto che le attuali previsioni indicano che a partire dalla metà degli anni 80 saranno costruiti annualmente 10^{18} *bits and gates.* Questo significa qualcosa come 250 milioni di bits and gates per ogni donna, uomo e bambino del mondo; a sua volta l'impatto maggiore si esprimerà nella selezione tra chi saprà e non saprà usare tale capacità.

CAPITOLO 14

METTERE A PUNTO LA CAPACITÀ PRODUTTIVA

1 – INTRODUZIONE

Crediamo che nessuno sia convinto che basti installare robot per aumentare la produttività e la capacità competitiva. Se così fosse ne rimarrebbe deluso. Solamente un periodo di preparazione completo, dettagliato, documentato e spesso anche gravoso per le decisioni da prendere, può costituire le solide basi necessarie per avviare un sistema di robot capace di dare i risultati voluti.

Nel 1980 il prodotto nazionale lordo americano è stato di 2600 miliardi di dollari. Le vendite di robot da parte di società americane sono state di circa 100 milioni di dollari, il che è meno dei 4/1000 dell'1% del prodotto nazionale lordo americano. È difficile valutare la dimensione che caratterizzerà l'industria della robotica la quale avrà la responsabilità dell'impatto sociale ed economico; questo impatto deriva dal fatto che i robot ed altre forme di automazione flessibile possono avere un gigantesco effetto moltiplicatore operando attraverso vari tipi d'industria. Considerando i diagrammi e gli istogrammi che illustrano in modo comparativo le tendenze della produzione tra i vari paesi, siamo portati ad osservare quelle che raggiungono sempre i punti più alti e siamo ormai abituati a sapere di che paese sono: il Giappone. Ciò che comunque è importante sottolineare è che in pressochè tutti gli studi sulla produttività sono due le variabili che vengono considerate della massima importanza:

– l'investimento di capitale e

– gli avanzamenti tecnologici.

Gli avanzamenti tecnologici sono incorporati nello stesso capitale investito e, di conseguenza, nella produzione attuale. L'investimento nella tecnologia avanzata è l'anello di collegamento di più variabili critiche. La tecnologia intrinseca è la robotica di per se stessa; e la riorganizzazione delle strutture di produzione deve essere

completamente ripensata per dare, ancora un volta, il sistema produttivo competitivo e vantaggioso.

Abbiamo l'esperienza fatta con i computer. Per circa 30 anni le aziende hanno pensato, ed i produttori di computer hanno fatto di tutto per aiutare questa convinzione, che più apparecchiature si compravano e meglio sarebbero andate le cose. I loro problemi si sarebbero risolti con la bacchetta magica proprio subito dopo il successivo investimento finanziario: e l'escalation è continuata per anni senza ottenere i risultati attesi. Nè avrebbe potuto essere altrimenti: senza un'attenta riorganizzazione della struttura alla quale sono destinate le più avanzate macchine del momento il risultato non potrà che variare tra il caos e il disastro.

La necessità di tale attento studio riorganizzativo si è ora estesa all'intero settore della produzione. Vi furono tempi in cui la pianificazione di nuovi prodotti catalizzava tutta l'attenzione e la produzione era ritagliata su quelle macchine strumentali più adatte per la nuova impresa. Sono state poi le industrie di computer, di macchine per l'azienda, di periferie di sistemi, aerospaziali ed altre avanzate, a trar profitto dalle sorprese incontrate; oggi un po' tutti hanno compreso come sia pressochè impossibile passare in modo indolore dalla produzione di apparecchiature elettromeccaniche all'elettronica mantenendo le stesse procedure o la stessa struttura produttiva.

Ad esempio, quando la NCR ha deciso di rinnovare radicalmente le proprie linee di produzione, il management ristrutturò tutta l'azienda, senza eccezioni. Nessun cambiamento nella storia di quell'azienda portò ad un maggior smembramento che quello causato dalla decisione dei primi anni 70 di decentralizzare la produzione e modernizzare l'intera struttura. Ciò che la NCR, o qualsiasi altra azienda, cercava di fare era di raggiungere la produzione di sistemi, macchine ed apparecchiature per computer a costi vantaggiosi; apparecchiature ed obiettivi che si sarebbero ben potuti raggiungere con la robotica, mantenendo bassi i costi grazie al poco lavoro manuale ed aumentando l'uniformità e l'affidabilità dei prodotti.

Quando si parla di produzione moderna, ci riferiamo ad una grande varietà di attività che hanno tuttavia un fattore comune: i microprocessori per funzioni di controllo ed il trattamento dati. Per andare oltre la sopravvivenza pura e semplice della fabbrica dobbiamo guardare alla robotica per la produzione effettiva, alla tecnica dei nastri trasportatori per il trasferimento dei materiali, ad un efficace stoccaggio per una vantaggiosa gestione dei magazzini ed a valide e solide strutture sia finanziarie che di management.

I processi di produzione sono rimasti stabili per decenni; l'invenzione del transistor ed il successivo sviluppo dei circuiti integrati ha cambiato tutto ciò facendo emergere un'attività di interscambio di soluzioni e problematiche: difficilmente nuove idee vengono dall'interno di una sola specializzazione. I circuiti integrati prima che vantaggi sulla riduzione di lavoro umano necessario, hanno permesso la riduzione dei costi grazie alla sostituzione di alcune parti con altre molto meno costose. Questo ha portato ad apprezzare molto la riduzione dei costi ottenibile ma non ha comportato granchè per il processo di produzione come tale. Ora, parlando di moderna produzione, intendiamo l'impiego di attività totalmente nuove, di un'efficienza mai ottenuta, nè ottenibile prima.

2 — I MUTAMENTI IN CORSO NEL MONDO DELLA PRODUZIONE

Il principio basilare da capire è che non sono soltanto i prodotti a morire, ma anche le macchine ed intere fabbriche, quando si affermano nuove tecniche di produzione. I robot computerizzati, con capacità visive e sensoriali, unitamente ad altri sistemi hanno, e continueranno ad avere, un significativo e crescente impatto su una grande fascia di attività industriali. Possono permettere aumenti di produttività e migliore qualità in un modo tale che nessuna azienda ne potrà fare a meno se vorrà restare sul mercato.

Tollerando i macchinari che necessitano di molto lavoro ed intervento umano, il management vive con il passato e perde di conseguenza il domani: è oggi che sono disponibili i robot intelligenti, basati sui microprocessori, capaci di effettuare assemblaggi di microelettronica, di trattare la metallurgia pesante, le attività di test e di impaccamento. Il loro utilizzo non si è ancora diffuso adeguatamente poichè non siamo ancora padroni, nè in familiarità con le loro capacità; stiamo ancora, in gran parte, sperimentandoli, anche per imparare ciò che possiamo fare con loro.

I robot necessitano di meccanismi sensoriali, di capacità visive, tattili, di dominare l'area operativa e di tecniche di programmazione. Il management deve acquisire la capacità di scegliere il robot giusto, adatto a determinate applicazioni; deve imparare ad effettuare documentate analisi costi/benefici; imparare a pianificare e realizzare una installazione-pilota; ed infine acquisire la capacità di guardare avanti e preventivare il futuro. A sua volta, un'azienda deve anche avere prodotti progettati in base alle nuove metodologie di fabbricazione: usare la robotica per prodotti vecchi, progettati originariamente per l'intervento operativo umano, è una pratica insensata, paragonabile a quella consistente nel progettare nuovi prodotti da fabbricarsi con vecchie macchine.

A partire dalla automazione della progettazione e del disegno fino al microimpaccamento, vi sono approcci differenti dalle classiche soluzioni del passato per sviluppare un prodotto. Il concetto non è per niente rivoluzionario. La miniaturizzazione dei componenti è stata per anni il problema centrale dell'industria elettronica. Computer e sistemi militari sofisticati sono composti da migliaia di componenti di tutti i tipi: la necessità di renderli più piccoli non è finalizzata tanto alla salvaguardia dello spazio, quanto alla semplificazione della complicata, costosa, lunga e bisognosa di molta manodopera, attività di collegamento dei vari componenti. Senza contarne la migliore qualità, la più alta affidabilità e la più facile manutenibilità.

Se guardiamo ai primi anni 70 possiamo considerare con interesse l'approccio seguito, da principio, dalla Texas Instruments con i suoi micromoduli: la tecnica consisteva nell'interconnettere parti costruite con le *stesse* dimensioni, poste verticalmente in piccoli contenitori, con fili che passavano sopra il tutto. Il concetto non rese la fabbricazione di componenti di per se stessa più semplice, ma spinse ad effettuare uno sforzo per capire la struttura dei costi di produzione e di progettazione; il che portò poi a una filosofia completamente nuova. Un po' di tempo dopo, questa filosofia, radicata nelle procedure dei sistemi della Texas Instruments, portò Jack Kilby a realizzare che erano possibili ulteriori passi attraverso strutture di microim-

paccamento orizzontale piuttosto che verticale, fino ad arrivare, da qui, allo sviluppo dei circuiti integrati (si veda anche la discussione nella seconda metà del cap. 1).

Da tali idee sono nati prodotti più efficienti e nuovi processi produttivi; le scoperte seguono poi un cammino logico: una volta che il numero di circuiti su un chip è diventato sufficientemente grande, è inevitabile che qualcuno pensi a realizzare le funzioni di un computer su un solo chip. A tali livelli di integrazione non possiamo separare la fabbricazione di un chip dalla sua progettazione. Se progettiamo l'architettura del computer mentre sviluppiamo i circuiti, dobbiamo anche pensare all'intero insieme di attività di produzione che entrano in gioco; questo porta ad una virtuale integrazione dell'ingegneria di progettazione con quella di produzione.

Sono sufficienti questi pochi paragrafi a far intuire il grande cambiamento in corso nella tecnologia di produzione e nella progettazione: non sarà solamente rinnovato completamente il prodotto da fabbricare, ma l'impatto dei microprocessori si sentirà grandemente anche nella progettazione e nella realizzazione dei macchinari per produrre, influendo grandemente sui tradizionali cicli e processi di fabbricazione. È da qui che partono le nuove possibilità per le aziende dinamiche. Le società giapponesi hanno indicato la strada con l'attenzione che hanno dedicato alla robotica. Con la robotica hanno ottenuto aumenti di produttività grazie all'automazione di una produzione diversificata che ha anche reso più semplice il passaggio da fabbriche più grandi a più piccole, necessità questa che vedremo nel prossimo paragrafo. In sequenza i programmi basati sulla robotica possono essere facilmente modificati per arrivare a coprire:

- le trasformazioni e le conversioni di modello,
- le variazioni dei flussi e dei movimenti richiesti dall'attività lavorativa,
- in generale tutto ciò che richiede flessibilità.

Tali macchinari basati sui microprocessori possono essere facilmente incanalati su applicazioni differenti o trasferiti ad altre fabbriche ed essere programmati per far fronte a sostanziali cambiamenti nei volumi di produzione. Non c'è da stupirsi quindi che vi siano società che si avventano su tale campo (oggi largamente dominato dai Giapponesi) e che l'IBM stia per togliere il velo ad una nuova divisone dedicata alla produzione di robot e di apparecchiature per la robotica.

Il progetto "White Cloud", un gruppo dedicato allo sviluppo interno all'IBM per robot industriali del tipo usato per assemblare terminali CRT a Raleigh, è stato, secondo alcuni, riorganizzato come la *General Robotics Division.* Questo indica un maggiore impegno dell'IBM per assicurarsi una posizione in un mercato emergente; ci si attende che varie altre aziende operanti nel campo dell'elettronica e dell'aeronautica seguiranno il suo esempio.

3 — UNA FABBRICA ROBOTIZZATA

Una tipica fabbrica robotizzata disporrà di avanzati strumenti software per pianificare l'approvvigionamento dei materiali e per gestire online il magazzino. Vi è una

notevole varietà di package per le industrie manifatturiere unitamente a sistemi per la raccolta dei dati e per la loro presentazione, essi sono calibrati in modo tale da poter servire alle varie linee di prodotto. Mettere però in produzione questi sistemi richiede attentissimi studi ed accurate attività di avviamento unitamente a nuovi atteggiamenti da parte dei lavoratori occupati per la produzione.

L'automazione della produzione può dunque essere adeguatamente realizzata se l'organizzazione è capace di mantenere un accuratissimo inventario. E questo richiede non solo strumenti computerizzati ma anche continua analisi e pianificazioni e cicli di controllo sulle risorse di produzione.

I classici controllori programmabili, quali quelli che conosciamo da 20 anni, sono adatti a controlli semplici sia per processi che macchine di cui l'intero comportamento possa essere espresso in termini decisionali binari, del tipo si/no. Possono essere usati in applicazioni caratterizzate da produzioni lunghe e da alti volumi. La sostituzione dei controllori convenzionali con i computer può portare sulla strada dell'automazione della fabbrica da realizzarsi passo a passo, con successive espansioni del sistema, a seconda delle risorse disponibili.

Quando parliamo di attività supportate da strumenti computerizzati dobbiamo far fronte a mutamenti concettuali basilari. La spiegazione può essere trovata nei potenziali vantaggi ottenibili come l'aumento del controllo sulla produzione, a vantaggio della qualità del prodotto, la possibilità di controllare e regolare il flusso di materiali, l'aumentata disponibilità a produrre, maggiore affidabilità per la manutenzione, una riduzione del tempo morto sia per le macchine che per la manodopera, il controllo del personale e l'ottenimento di un più lungo ciclo di vita per la macchina.

La questione relativa alla adeguatezza del lavoro preparatorio entra in gioco con tutta la sua importanza. Un buon modo per affrontarla sta nel partire considerando l'integrazione del CAD/CAM all'interno delle direttive di fondo del management della fabbrica: uno schema che riteniamo valido è rappresentato in Figura 14.1. Deve essere esaminata l'intera fascia di attività, a partire dalla pianificazione fino al controllo, compresa l'adeguata attenzione che deve essere data alla formazione delle risorse umane.

È in vista una tendenza a guardare con rinnovata attenzione all'attività di formazione permanente, in quanto gli strateghi ed i responsabili industriali ritengono che molti dei loro dipendenti non abbiano sufficiente familiarità con i concetti della tecnologia e perchè spesso la necessità di innovare è lasciata a bassa priorità e così pure la relativa preparazione. La questione ha vari aspetti. In un caso specifico è stato detto che la comunicazione tra il responsabile dell'elaborazione dei dati ed il general management è peggiorata invece che migliorata: "l'unica cosa che il top management può dire sul proprio computer è quando si è fermato l'ultima volta". Il management comincia a rendersi conto che ha ora bisogno di competenti professionisti di computer e di rapidi avanzamenti in tale tecnologia che lo stesso management possa capire e realizzare.

Si possono però ripetere gli errori del passato; speriamo che non sia il caso della

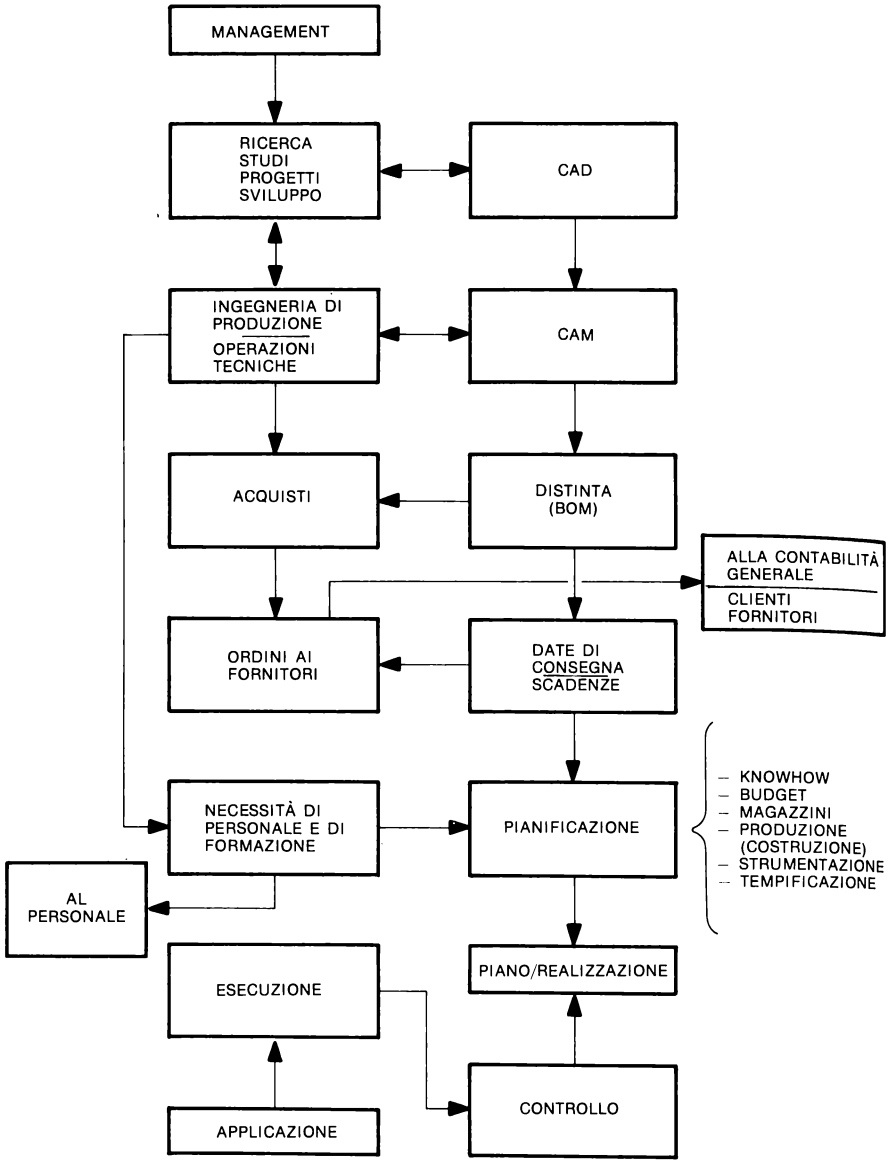


Figura 14.1 — l'integrazione di CAD e CAM all'interno del flusso delle principali fasi di produzione. È compreso un ampio insieme di attività che variano dalla pianificazione al controllo; particolarmente importanti fra questi il trattamento della distinta macchinari e il controllo del mantenimento delle date previste.

robotica. È molto importante capire che l'automazione dei processi industriali presuppone comprensione e supporto da chiunque vi stia dietro.

Grazie al CAM la linea di produzione e di reparti di progettazione devono interfacciarsi, all'interno dell'organizzazione della fabbrica, con chi controlla i materiali, in modo tale che essi siano tempestivamente disponibili e che il lavoro possa essere prontamente svolto. La stessa gestione di magazzino dipende dai venditori e dai gruppi di marketing e, di conseguenza, dalle previsioni di vendita e dalle politiche da seguire.

Tutto ciò suggerisce un organico flusso circolare di eventi, dall'ordine al magazzino, alla produzione e quindi ancora all'ordine. Per mantenere organico ed accordato questo flusso le organizzazioni devono passare attraverso una rivitalizzazione delle loro vendite, delle metodologie di gestione dei magazzini e della produzione.

La gestione dei reparti di produzione richiede un sistema che indichi i costi di magazzino, i costi di produzione ed una stima della capacità di carico della fabbrica. Se si presenta un problema esso dev'essere immediatamente identificato ed opportunamente affrontato; in una grande fabbrica sono dozzine i reparti che devono interagire per soddisfare i vincoli schedulati per i differenti programmi di prodotto.

Coordinamento e rapidità d'interscambio delle informazioni sono fattori essenziali se vi deve essere un efficiente controllo a partire dagli aggiornamenti della distinta macchinari fino al mantenimento dello stato dei vincoli per la produzione, compreso il costo.

La gestione della fabbrica richiede economicità nell'affrontare nuove produzioni e strutture, così come il mantenimento di un completo controllo su tutto il processo di produzione. I database devono essere creati e messi a disposizione online, in tempo reale, con sistemi di tipo transazionale; non sono accettabili errori nell'imputazione manuale e lo stesso vale per raccolte di dati intempestive ed inaccurate.

Se, da una parte, la necessità di supporti basati su computer è indiscutibile, dall'altra, devono essere disponibili una varietà di programmi basati su moderne ed efficienti procedure di standard produttivi, per il magazzino ed i relativi controlli, per la schedulazione, per le previsioni basate sui dati storici e per una pianificazione dinamica. Il computer dovrebbe aiutare il management a determinare l'arretrato nell'evasione degli ordini e così l'identificazione della situazione di magazzino ideale; far prendere inoltre decisioni commerciali basate sulle risorse disponibili.

Tutto ciò dovrebbe aiutare a dare una visibilità a livello produzione quale non si è mai avuta in passato. Sarà possibile controllare fasi multiple di produzione e di sistemi d'immagazzinamento evitando sovra e sotto dimensionamento e raggiungendo un miglior utilizzo della capacità di produzione della fabbrica; sarà così possibile evitare i ritardi e gli errori del passato che hanno spesso afflitto, e qualche volta anche distrutto, le pianificazioni più attente.

Non sarà mai ripetuto abbastanza che la chiave di tutto non sta nelle macchine (che sono disponibili) ma nella preparazione e nelle procedure organizzative (che non lo sono). Dobbiamo avere un'idea precisa e completa di come vogliamo che sia il posto di lavoro: dal concetto generale (quale è indicato in Figura 14.2) fino ai det-

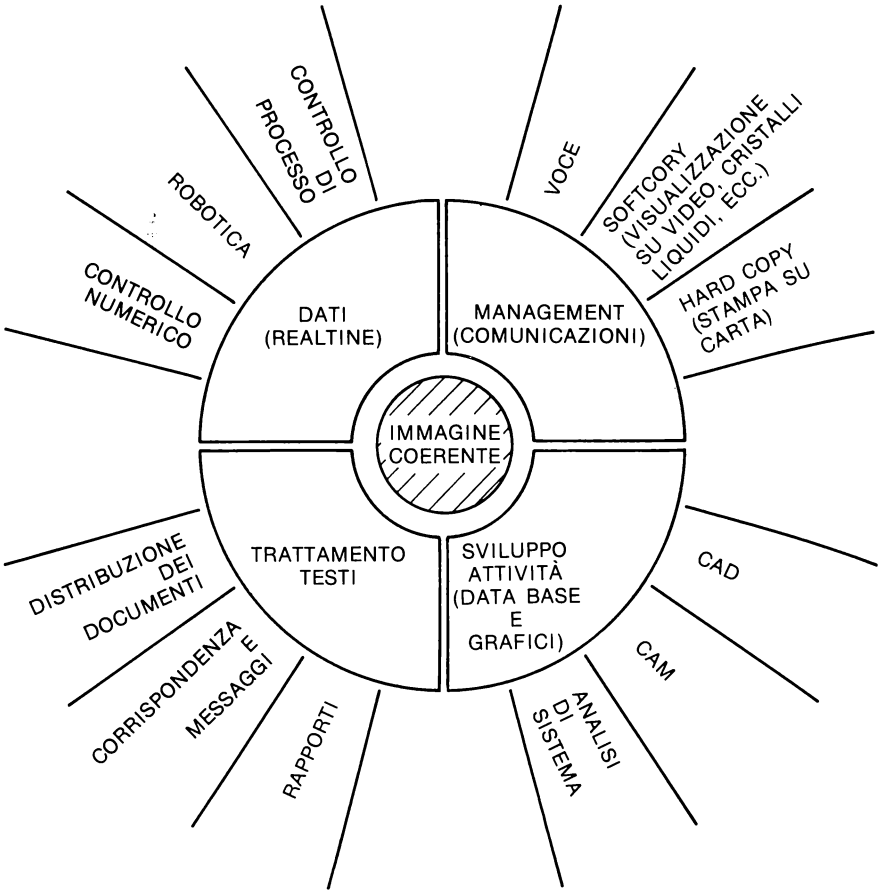


Figura 14.2 — è fondamentale realizzare un'immagine coerente delle attività la quale possa fungere da fulcro per l'integrazione della gestione di dati e testi, per poter gestire con l'aiuto del computer le attività di sviluppo e per supportare le comunicazioni con il management.

tagli. Dobbiamo essere pronti all'avviamento del sistema, ma anche ad assicurare il periodo di transizione che può durare anche 5 anni.

All'interno dei nuovi concetti applicativi, la parte CAM del CAD/CAM dovrebbe essere usata per memorizzare archivi di parti ed il magazzino; stabilire la distinta macchinari con l'ingegneria; deve prevedere l'aggiornabilità con ogni tipo di transazione, come la creazione ed il mantenimento degli ordini di acquisto, le bolle di produzione e di consegna e permettere all'azienda di cambiare i dati online. Il management de-

ve poter controllare le variazioni degli acquisti, la consegna delle parti e dev'essere sicuro di averne la disponibilità quando serve.

Anche la pianificazione della capacità è un tema cruciale: coinvolge particolarmente quei centri operativi nei quali si possono sviluppare delle strozzature. Un reparto di produzione, per esempio, può avere una particolare fase che fa parte di tale strozzatura; vi possono essere reparti in cui le macchine operano stando nei tempi ed altri in cui questo non si verifica: è importante individuare l'origine del problema. Un sistema formale per la pianificazione della capacità dovrebbe considerare il materiale e il routing file, percorrerlo, valutare i flussi prevalenti ed i ritardi e le interruzioni possibili del lavoro: queste si riveleranno essere informazioni vitali.

Vi è un altro esempio sulla necessità di una sottostruttura procedurale. Sono molte le società che non hanno ancora *routing file:* hanno appena un insieme di schemi di processo che vengono eseguiti mano a mano che avanza il processo di produzione. Tutte le volte che questo caso si verifica, le procedure sono antiquate e sicuramente non sono in grado di sostenere in sistema orientato al management. Ripetiamo ancora una volta che le macchine non possono lavorare senza un'adeguata organizzazione: ecco perchè, tante volte, l'investimento si rivela essere inutile.

4 – IL CONTROLLO NUMERICO

Parlando della fabbrica robotizzata ci siamo riferiti al periodo di transizione. I robot non sono creature arrivate da un altro pianeta: il loro sviluppo è durato 25 anni, anche se nella metà degli anni 50 i loro predecessori erano conosciuti come "controllo numerico" per le macchine strumentali.

Sicuramente, a quei tempi, le apparecchiature a controllo numerico erano rudimentali se confrontate con quello che possono fare oggi i meccanismi robotizzati: la tecnologia dei computer non era ancora così avanzata e mancavano 2 decenni per arrivare al potente microcomputer. Nella metà degli anni 50 vi fu tuttavia un altro significativo sviluppo; non bisogna dimenticare che il 1955 fu un anno storico per il modo con cui le aziende operavano nel mercato: si accettò da parte di tutti che per la prima volta "i colletti bianchi" superassero il numero, negli Stati Uniti, degli operai.

Questi sono i motivi fondamentali che mi hanno spinto ad includere questo paragrafo nel presente capitolo. Del resto, è suggestivo e interessante guardare indietro alle origini, ad esempio quando, nel 1956, all'*Engineering Faculty of the Catholic University of America* (in Washington D.C.) pubblicai un programma per il mio corso su *Factory Automation* precedendo una concezione che avrebbe impiegato 20 anni per realizzarsi, anzi 25.

Vi sono vantaggi ben conosciuti nell'applicazione dei metodi basati sul controllo numerico alle macchine utensili. Prima di tutto la eliminazione delle rilavorazioni. In certe industrie le caratteristiche dei macchinari sono tali che il tempo di messa a punto può essere più lungo dello stesso tempo di produzione. La schedulazione di un lavoro d'officina è un esempio di questo tipo di produzione. Le macchine sono mes-

se a punto per realizzare piccole quantità di pezzi e quindi le sagome, le guide ed i modelli cambiano e vengono realizzati vari lotti di pezzi.

Il controllo numerico può ridurre il tempo, lo sforzo e le spese che in tali condizioni aumentano, facendo diventare la macchina un'unità più flessibile e più adatta ad una produzione ingegneristica. Tra i vantaggi ci sono:

- flessibilità;
- accuratezza ottenuta secondo le specifiche fornite dalle istruzioni (con il controllo numerico le limitazioni sono per lo più inerenti alle caratteristiche della macchina);
- indipendenza dalla capacità di manodopera;
- ampie possibilità di riprogettazione completa delle macchine utensili: questo può essere fatto per portare la macchina ad operare a ritmi ben maggiori di quelli raggiungibili sotto i vincoli di sicurezza per l'operatore.

Le fasi critiche per il controllo numerico di una macchina utensile partono dalle specifiche che devono essere sviluppate in un sistema CAD. I segnali codificati in modo digitale devono far operare i servomeccanismi della macchina utensile che a sua volta posizionerà e comanderà la strumentazione sulle proprie traiettorie operative; l'intero processo viene così organizzato.

Una delle maggiori considerazioni che si devono fare nella automazione delle macchine utensili riguarda la natura e l'ammontare di informazioni che sono necessarie per realizzare le operazioni desiderate. Da principio i ricercatori tentarono di risolvere questo problema con l'uso di processi basati su informazioni digitali. Ad esempio, la macchina componente usata nei primi progetti del MIT, negli anni 50, consisteva di una macchina universale di fresatura, di 3 servomotori che azionavano le parti in movimento degli strumenti usati per misurare le relative posizioni di queste parti.

L'apparecchiatura di lettura aggiunta alla macchina utensile era realizzata con 3 componenti: un sistema per il trattamento dati, un sistema per l'interpretazione dei dati ed un insieme di servomeccanismi di decodifica. Il sistema per il trattamento dati consisteva di un lettore di nastro e di 6 registri a relay (2 per ogni movimento possibile alla macchina) realizzati in coppia, in modo tale che uno potesse controllare la macchina mentre l'altro riceveva le informazioni. Alla fine di ogni comando vi era l'immediato trasferimento dell'informazione memorizzata da un registro all'altro.

Il sistema per l'interpretazione dei dati inviava degli impulsi generati da un sincronizzatore centrale che forniva anche il tempo all'intero sistema. Questi impulsi erano controllati da un insieme di flip-flop ed inviati ai servomeccanismi per la decodifica. Quando questi ricevevano gli impulsi ruotavano di un grado ciascuno trasformando quindi l'informazione digitale in un formato analogico utilizzabile dalla macchina.

Per essere certi che la conversione da digitale in analogica fosse stata effettuata correttamente si usava un circuito di feed-back consistente in un albero connesso al

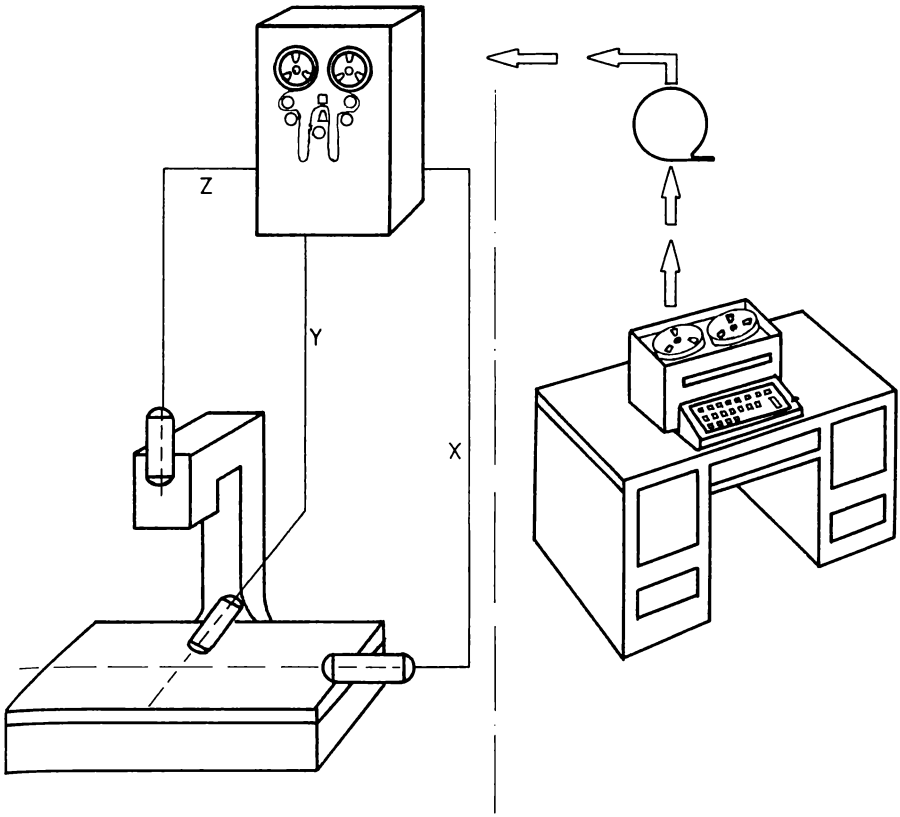


Figura 14.3 — l'originario concetto di macchina utensile programmabile a controllo numerico com'era stato sviluppato dal MIT. Risale alla metà degli anni 50.

sincrotrasmettitore, un codificatore e un piccolo servomotore a induzione a 2 fasi con l'appropriato meccanismo.

Il codificatore generava un segnale di feed-back, nel formato di un impulso elettrico per ogni grado di rotazione dell'albero. Il numero di questi impulsi di feed-back era poi confrontato con il numero di impulsi emanati dal sistema per l'interpretazione dei dati grazie ad un registro addizionatore. Se i due conti combaciavano il registro addizionatore restava a zero; altrimenti era generata una tensione elettrica e il servomotore bifase ruotava l'albero in modo da portare il conto a zero. I comandi elettrici ricevuti dai servomeccanismi di decodifica andavano ai servomeccanismi idraulici che pilotavano l'albero centrale che comandava direttamente la macchina. A questo punto si inseriva nuovamente il meccanismo di feed-back.

Dunque, fin dalle prime concezioni e realizzazioni risalenti alla metà degli anni 50, un sistema a controllo numerico deve prevedere: un sistema per trasformare le informazioni riguardanti una certa parte di dati matematici che possono essere memorizzati su un qualche supporto; apparecchiature per la produzione capaci di leggere e seguire le istruzioni; un macchinario utensile le cui operazioni possano essere controllate elettricamente ed un sistema indipendente di feed-back che controlli i movimenti della macchina ed inneschi azioni correttive in presenza di errori.

Tra i vantaggi possiamo contare la minimizzazione dei tempi di conversione e della messa a punto della macchina, permettendo una rapida messa in produzione di nuovi pezzi; un aumento di produttività dovuta alla maggior rapidità con cui operano i macchinari ed all'automatismo dei cicli; la riduzione del lavoro necessario ad ogni pezzo; diminuzione della quantità di materiale in lavorazione, riduzione degli scarti essendo ridotta la possibilità di errore da parte dell'intervento umano; il fatto che le informazioni in possesso dell'ingegneria, essendo così molto più dirette, permettono un maggior controllo della produzione.

Generalmente, anche se non necessariamente, il processo di ideazione, progettazione e realizzazione di un prodotto comincia con un disegno delle varie parti. Con le procedure pre-CAD veniva preparato, partendo dal disegno, un dettagliato manoscritto di tutte le fasi operative delle macchine necessarie per produrre il pezzo. Questo descriveva la velocità, la modalità di alimentazione, la strumentazione, le dimensioni e così di seguito. Dopo che fu introdotto il controllo numerico (in cui vi è un controllo continuo del tragitto, come nelle rilevazioni), furono aggiunte più fasi. Un computer calcolava e memorizzava i movimenti della macchina utensile e registrava nella memoria primaria gli estremi per tranciatura. Da questo punto il sistema diveniva un servomeccanismo il cui input veniva dalla apparecchiatura di memorizzazione ed il cui controllo andava alla macchina utensile.

I controlli numerici possono essere classificati in differenti gruppi a seconda delle loro applicazioni: posizionamento, sezionatura, ritaglio ed innumerevoli altre. Il posizionamento è il tipo di operazione effettuato nell'attività di trapanatura e perforatura; genericamente richiede il movimento del piano regolando l'operazione con la combinazione dei suoi due assi orizzontali. Le sfasature possono essere tollerate in quanto saranno corrette dai meccanismi di feed-back prima che si effettui il taglio. Poichè è necessario controllare solo i punti finali ed il tragitto tra loro è insignificante, questi controlli sono dei più semplici ed in particolare di tre tipi.

Il controllo della precisione del taglio può essere usato per far girare, a scatti, l'albero di un tornio. Il controllo include sia il tragitto che i punti finali e non è permessa alcuna sfasatura a causa della continuità del taglio. Solitamente è necessario più di un tipo di movimento della macchina, tuttavia, il coordinamento tra i controlli di posizione non deve necessariamente essere in uno schema a movimento multiplo. Il più complesso dei tre tipi è quello riguardante il ritaglio su linea continua. Questo richiede programmazione e generazione del tragitto di movimento per la macchina, il che richiede a sua volta il controllo simultaneo di due coordinate e della velocità di avan-

zamento; oppure di tre coordinate includendo l'altezza del taglio che permette così una produzione altamente curata di pezzi tridimensionali.

Un'ulteriore classificazione di sistemi a controllo numerico è conosciuta come *"referencing holes"*. Si distinguono a loro volta due sistemi: l'incrementale e l'assoluto. L'incrementale specifica una nuova posizione facendo riferimento alla direzione ed alla distanza della posizione precedente. Un errore di programmazione in qualsiasi punto sarà causa di errore in tutti i punti successivi. Questo sistema è relativamente semplice e maneggevole ma ha lo svantaggio suddetto, intrinseco al proprio modo di operare. Il sistema assoluto riferisce ogni punto partendo da qualunque posizionamento arbitrario, eliminando così lo svantaggio dell'altro sistema; necessita però una maggior apparecchiatura.

5 — SEGUIRE I GRANDI PROCESSI DI SVILUPPO

Le frese controllate numericamente per la produzione di strutture per l'aeronautica furono le prime ad essere fabbricate. Originariamente l'informazione era perforata dal programmatore su un nastro di carta. Questo era verificato su una copia di facile leggibilità. Il nastro di carta perforato veniva quindi inserito in una unità che convertiva l'informazione digitale in segnali analogici registrati su nastro magnetico.

Per esempio la Numill era un input controller per nastro magnetico sviluppato nel 1957 dalla North American Aviation, Automatics Division, per la produzione economica di singole unità o pezzi in piccole quantità. Era progettata per produrre modelli, barre per profili, ed altre parti disegnate a 2 dimensioni. Questo semplificava moltissimo le procedure di allora utilizzate per creare un pezzo. Il controllo numerico eliminò molti passaggi e rese la preparazione più automatica. Le informazioni erano codificate e immesse in un computer IBM della serie 700 che produceva un nastro magnetico per il controllo della macchina utensile; l'elaborazione del computer era controllata da un programma principale che dirigeva l'operazione e verificava l'accuratezza dei calcoli. Ogni curva era approssimata da una serie di segmenti e l'accelerazione dei movimenti della macchina era controllata per prevenire sfasature.

Tali unità combinavano solitamente sia il controllo dei punti e delle traiettorie nelle due coordinate orizzontali di movimento sia il controllo per la velocità e la flessibilità nelle operazioni di fresatura e di trapanatura. I movimenti sugli assi orizzontali erano misurati da rilevatori digitali che percepivano i formati di interferenza generati dai reticoli ottici. Impulsi rappresentanti rilevazioni nell'ordine di 0,0001 cm. garantivano un controllo accurato su una distanza dell'ordine di 2 metri e mezzo; la direzione era rilevata come "un'aggiunta o una sottrazione", e questo indica un certo livello di integrazione del concetto di computer con quello di macchine strumentali.

La ragione per cui dedichiamo tanto interesse a quelle che sono state le realizzazioni iniziali sta nel fatto che i punti fondamentali non sono poi cambiati di molto. I primi passi sono suggestivi perchè avevano portato a scoperte nuove, anche realizzando fantasiose combinazioni di concetti già esistenti.

Le macchine utensili controllate dal computer non avrebbero fatto un lavoro mi-

gliore di quello dei più abili macchinisti, ma avrebbero eccelso nella produzione e nella qualità rispetto alla media. Questo sforzo ci portò a pensare che la strada migliore sarebbe stata un compromesso tra le variabili basilari del processo. La lezione è stata imparata ed i risultati applicati con la robotica.

Fin dalla metà degli anni '50, anni a cui risalgono le prime applicazioni, le macchine utensili a controllo numerico erano classificate secondo i tipi di macchinari o secondo i metodi per la gestione dei dati. Per il primo tipo abbiamo fatto riferimento a quelle:

1. *a controllo di posizionamento, il tipo più semplice*; interessavano solo i punti finali e si potevano tollerare le sfasature; il tragitto tra i punti finali non interessava; il tempo tra i punti finali era invece importante. Esempi erano le attività di fresatura e di trapanatura.

Vi è poi il tipo a:

2. *sezionatura con controllo di taglio*; il posizionamento dello strumento deve essere controllato in tutti i punti della linea di taglio; deve anche prevedere un controllo nella velocità di avanzamento in quanto non sono accettabili sfasature. Quando alla macchina è richiesto più di un movimento è necessario coordinare la velocità di ciascuno di essi. Un esempio è costituito dall'attività di tornitura.

Il terzo tipo riguarda le:

3. *macchine con controllo di taglio*; queste richiedono la programmazione di ogni tragitto che si può far compiere alla macchina attraverso spostamenti adeguati. Solitamente si usa il controllo di posizionamento simultaneo dei 2 assi, compreso il controllo della velocità di avanzamento. La necessità di programmare tutto ciò in piccoli passi deriva dal fatto che si devono seguire curve arbitrarie e che le correzioni dei punti di taglio sono molto più complesse di qualsiasi altre.

Abbiamo anche trattato brevemente di una classificazione relativa al metodo per trattare i dati:

1. *Sistemi a controllo incrementale*, nei quali la nuova posizione dello strumento è fornita in termini di distanza e direzione rispetto all'ultima posizione. Un errore di programmazione in qualsiasi posizione si rifletterà su tutte le posizioni successive. Le possibili interruzioni di alimentazione elettrica costituiscono un problema in quanto il sistema può perdere la memorizzazione delle posizioni; si rende allora necessario tornare alle posizioni di partenza e riprendere il programma.

2. *Sistemi a punti di riferimento assoluti*, nei quali ogni posizione viene specificata in termini di distanza e di direzione da una qualunque base arbitraria di riferimento. Un errore nella programmazione non ha effetto sui posizionamenti successivi; tutto l'apparato però non è per niente semplice. Ai primi tempi dell'uso di questo sistema esso si rivelò meno economico e meno affidabile di quello incrementale.

3. *Sistemi a modulazione differenziale (modulazione delta),* usanti la cosiddetta *Delta or Differential Pulse code modulation — DPCM*, e cioè una tecnica di previsione lineare basata sui valori di 4 precedenti campioni.

Questo metodo è più moderno dei precedenti ed è spesso usato con processi operanti con alte frequenze come avviene, ad esempio, con la televisione. Il valore previsto di un campione è sottratto dal suo valore attuale e il risultante segnale differenziale viene applicato ad una apparecchiatura di comprensione/espansione interna al trasmettitore.

Per ricapitolare i veri vantaggi ottenuti con il controllo numerico sono stati individuati intorno a 2 punti principali: primo, senza accettare tolleranze nei comandi dati alla macchina fin dall'inizio della fase di fabbricazione, ogni pezzo può essere realizzato in modo accettabile. Secondo, dal momento che è essenzialmente zero il tempo necessario per inserire i comandi nella macchina, questa è impegnata per pressochè tutto il tempo a produrre.

La prima considerazione significa molti soldi nelle operazioni complesse. La seconda apre un'intera nuova serie di possibilità tra loro interconnesse che influenzano l'economicità della soluzione. Inoltre la tecnica del controllo numerico è stata applicata ad altre situazioni nelle quali si dovevano eseguire sequenzializzazioni, posizionamenti e calcoli; alcuni esempi sono l'attività di test ultrasonico che richiede la sequenzializzazione dei punti di test, il test dei circuiti elettronici che richiedono operazioni di commutazione.

6 — VERSO FABBRICHE PIÙ PICCOLE E PIÙ EFFICIENTI

Le maggiori industrie manifatturiere sono estremamente consapevoli dei mutamenti di situazione ai quali ci siamo riferiti. Si dice che la U.S. Steel e la GM abbiano inviato quadri di primo piano in Giappone per acquisire knowhow nella robotica. Sono in gran numero le aziende che hanno già intrapreso approfonditi studi sulla possibilità di rivitalizzare i loro tradizionali impianti produttivi; come abbiamo già accennato, uno studio della NCR risalente al 1971 ha indicato che la strada migliore è quella di andare verso fabbriche più piccole per la produzione di un limitato gruppo di prodotti usando processi completamente automatizzati.

Con i microprocessori che stanno invadendo i processi industriali, un management di larghe vedute può guardare secondo nuove prospettive a ciò che si deve e non si deve fare. Uno dei risultati dello studio della NCR è stato che la manodopera utilizzata nella fabbrica di Dayton, che al livello massimo era di 14.500 unità (circa il 90% di tutta la manodopera aziendale impiegata dalla NCR negli Stati Uniti) è oggi ridotta a soli 850 lavoratori; per molti di loro il lavoro ha subito riduzioni di livello retributivo a partire dall'operaio metallurgico che guadagna 8 dollari e mezzo all'ora fino ad arrivare all'assemblatore di circuiti elettronici che guadagna 3 dollari e 70 all'ora. Questo non è necessariamente rappresentativo per una qualunque fabbrica automatizzata ma esemplifica bene i cambiamenti che possono avvenire nelle competenze e nella composizione del posto di lavoro.

Altro punto fondamentale derivante dall'esperienza è il livello di pianificazione che dovrebbe precedere la trasformazione sia verso un'automazione completa sia verso la semplice distribuzione delle attività di fabbricazione. La decisione di decentralizzare sembra che sia stata traumatica per il management delle fabbriche NCR, in quanto il radicale mutamento comportò grandi cambiamenti concettuali nella produzione: in 5 anni non rimase nessuno del vecchio management escluso due dirigenti. Vi era un problema di adattamento: le vecchie leve del management di fabbrica provenivano da una carriera di tipo verticale; pochi erano veramente adatti alla carriera direttiva; pochi avevano un'educazione di alto livello; le nuove tecnologie di produzione non erano certo il loro forte.

La società aveva una grande fabbrica centralizzata a Dayton con delle altre, fatte ad immagine e somiglianza, nel mondo. La progettazione era pressochè totalmente indipendente dalla produzione. Confrontati con gli standard di oggi, l'approccio alla produzione era semplicistico: l'unico modo per ridurre i costi consisteva nel far lavorare di più uomini e macchine. L'NCR presentava una rigida integrazione verticale unitamente a controlli di fabbricazione rudimentali.

Una complicazione sulla strada verso fabbriche più piccole fu la necessità per ciascuna di avere il proprio reparto di progettazione e sviluppo in modo da poter effettuare rapidamente i cambiamenti nei prodotti.

La progettazione aveva seguito le sorti dei prodotti, adattandosi ad un ritmo lentissimo di innovazioni: come rilevò verso la fine degli anni '70 il nuovo management che si era installato, uno dei registratori di cassa NCR conservò lo stesso disegno e struttura dal 1921 fino al 1959, mentre il tipico ciclo di vita di un prodotto elettronico è di 4-5 anni. Non c'è da sorprendersi se il cambiamento verso fabbriche più piccole con gruppi residenti di ingegneri progettisti comportò uno stile completamente nuovo nella produzione della NCR.

La vecchia politica consistente nel produrre tutto di tutto fu ribaltata. Gli acquisti, la produzione e la progettazione furono ristrutturati e la società fece un uso molto migliore del talento tecnico dei propri funzionari. Si passò dalla massima integrazione verticale a soluzioni più ragionevoli per cui la società teneva solo le parti che poteva realizzare con una certa competitività sia in termini di costi che di qualità.

Il cambiamento fu strutturale. Nelle vecchie fabbriche meccaniche, il costo del lavoro ammontava al 75%, o anche più, del costo totale di produzione; un altro 15% era rappresentato dai materiali.

Nelle nuove fabbriche per la produzione di materiale elettronico, il 55-75% dei costi di produzione è costituito da materiali e componenti; il lavoro pesa per meno del 20% ed è ancora in fase decrescente. Questi sono alcuni dei cambiamenti fondamentali che hanno aiutato l'NCR a ridurre la manodopera utilizzata negli USA da 15.750 unità a 6.000, con un solo 15% a Dayton che viene impiegato per le attività centrali di produzione.

Ma sono veramente necessari cambiamenti così radicali? Il management deve prendere decisioni tanto radicali? La risposta è "sì" se si vuol sopravvivere. Se un'azienda non ha la forza di prendere tali misure perderà la propria posizione nel mer-

cato. La Commodore, ad esempio, primaria produttrice di personal computer, aveva più del 50% del mercato giapponese; dal 1981, solo due anni dopo, la sua fetta di mercato è scesa al livello del 15% a causa della concorrenza giapponese. Concorrenza che non si ferma al mercato giapponese; sta rapidamente interessando anche quelli europei ed americani. È previsto che i Giapponesi possano conquistare una rispettabile fetta variante tra il 30 ed il 40% del mercato americano di personal computer già dalla metà degli anni '80.

È proprio grazie ad un valido management della produzione e ad un altrettanto valido controllo di qualità che è logico attendersi che i competitivi prodotti giapponesi appaiano in gran quantità un po' in tutti i mercati. Nessuno potrebbe quindi biasimare la NCR o il management di altre organizzazioni se stanno mettendo in atto un riassestamento delle proprie forze, se stanno rivitalizzando e riorganizzando nel tentativo di rendere più snelle le proprie aziende perchè restino competitive con i loro prodotti. Nessuna organizzazione dovrebbe osare di affrontare da sola il problema della disoccupazione strutturale: il risultato sarebbe disastroso. La parola chiave deve essere: *efficienza.*

Questo punto è così importante che è necessario riproporlo usando opportune statistiche. Non più tardi del 1960 per alcune aziende che si basavano sostanzialmente sulla produzione di macchine contabili, come la Burroughs, l'NCR e la Olivetti, il 15% dei costi di produzione veniva dai materiali; oggi, con una tecnologia ampiamente rinnovata, così come i prodotti, i materiali incidono, in media, per i 2/3 dei costi di produzione. La suddivisione tra costo di lavoro e costo dei materiali per ogni bene venduto si è rovesciata e sono cambiati i criteri.

Il caso della NCR considerato non è un'eccezione. Anche altre società produttrici di macchinari ad uso aziendale sono passate da grosse fabbriche centralizzate ed altrettanto grandi linee di assemblaggio a punti di produzione più piccoli, decentralizzati. Grazie all'impatto della tecnologia, nei 10 anni che vanno dal 67 al 77, la Burroughs ha aumentato le proprie vendite per addetto da 13.000 a 37.500 dollari. Il che è solo vicino al livello che raggiunse l'IBM, la quale proprio nel 77 portò le proprie vendite per addetto a 55.800 dollari. Da allora il ritmo si è accelerato proprio per l'automazione dei reparti di produzione.

Ricapitoliamo i punti principali. Nei reparti di produzione la tecnologia dell'informazione rende possibile un miglior coordinamento: macchinari molto automatizzati per la fabbricazione; linee di produzione più corte per realizzare beni; operazioni richiedenti un basso volume di manodopera; una drastica riduzione degli stock «polmone» tra le stazioni di produzione; una migliore qualità e la capacità di controllare i costi. In altri termini la robotica non solo costituisce lavoro umano ed altera i classici schemi di produzione ma rende anche possibile significative riduzioni di costo grazie alla pianificazione della produzione basata sul computer e a connesse attività di controllo riguardanti la schedulazione, la gestione del magazzino, i controlli di qualità e le attività di acquisto.

Un'attenta schedulazione delle spedizioni e degli ordini aiuta l'industria manifatturiera a ridurre le dimensioni dei costosi magazzini. Per molte aziende produttrici di

sistemi ad uso aziendale questa riduzione si è rivelata significativa: la riduzione è stata da 7 mesi alla metà. Coraggiosi acquisti e gli effetti di massa che una grande azienda può indurre sui costi e sui tempi possono aiutare a mantenere sotto controllo l'intero listino prezzi dei prodotti finali. Ma vi è un campo nel quale l'integrazione verticale è quasi una necessità: i chip di memoria e i microprocessori.

L'alta influenza del costo dei materiali in contrasto con il costo del lavoro, considerando il prodotto finale, è uno dei motivi per cui bisogna dare la massima attenzione ai componenti chiave. Un'altra ragione sta nel suolo cruciale che giocano i semiconduttori nella realizzazione di apparecchiature ad alta tecnologia. Non c'è da sorprendersi, quindi, che un'area nella quale alcuni produttori cominciano con proprie iniziative sia proprio quella dei semiconduttori. Come ha fatto l'IBM, iniziando con centri capaci di progettare e produrre circuiti integrati, e arrivando poi allo sviluppo di una tecnologia avanzata e a loro propri prodotti.

Il possesso di una propria tecnologia per i semiconduttori permette ad un'azienda di studiare come i chip possono essere tra loro integrati in nuove applicazioni. Per esempio, una cosa che colpisce ricercatori ed ingegneri dotati di esperienza nella tecnologia dei semiconduttori e con cognizione delle realtà di mercato, è l'illogico fatto che la gente paghi i calcolatori scientifici almeno quanto i minicomputer. Questa semplice, ma sostanziale osservazione si pensa che sia stata sullo sfondo dell'originale idea di mettere funzionalità extra su un singolo chip. I clienti vogliono funzionalità extra comprese nel prezzo ed un valido progettatore dovrebbe individuare le semplificazioni che rendono questo possibile all'interno dei prodotti che l'azienda commercializza.

La progettazione in proprio può favorire il controllo dei fattori di costo. «I nostri costi di produzione sono più bassi», ha detto un dirigente di una delle principali aziende, «abbiamo ridotto i costi di alcuni circuiti del 95% in 6 anni». Ne segue che non c'è da stupirsi se alcune aziende hanno ritenuto conveniente raddoppiare le proprie spese di ricerca e di sviluppo fin dai primi anni 70.

Anche le priorità sono cambiate. Per molte aziende le spese di ricerca e sviluppo consistevano sostanzialmente in progetti di sviluppo che dovevano portare a prodotti commercializzabili in un anno o al massimo due. Questa stessa attenzione al «breve termine» nella pianificazione dei progetti di ricerca e sviluppo si estese anche ai settori ad alta tecnologia come quello dei semiconduttori: il management non era interessato ad effettuare ricerche di base sui materiali; tutto l'interesse andava a ciò che era necessario all'azienda per un miglioramento del rapporto prezzo/prestazioni nei propri prodotti; questo miglioramento doveva essere di circa il 15% per anno ed i progetti dovevano essere realizzati in non più di 2 anni. Ora non solamente entra in gioco la ricerca di base ma anche una gran parte degli sforzi vengono dedicati all'ingegneria della produzione e alla tecnologia connessa alla robotica.

CAPITOLO 15

IL CONTROLLO DI PROCESSO

1 – INTRODUZIONE

Un processo è sotto controllo quando i valori dei suoi fattori chiave, caratteristici del suo andamento, rientrano in un certo accettabile intervallo di variazioni. Nessun processo segue una linea fissa e precisa per quanto riguarda l'andamento di ciascuno di questi fattori. Vi sono sempre delle deviazioni: ecco perchè in ogni tipo di progettazione ingegneristica specifichiamo sia i valori oggettivi che le relative tolleranze.

In un processo produttivo ben calibrato il nostro intento è quello di tenere sotto controllo le variabili fondamentali in riferimento ai valori attesi predefiniti. È qui che si affronta il problema delle variazioni: si parla di limiti di controllo superiori e inferiori entro i quali i valori delle variabili in oggetto sono liberi di fluttuare. *

Un processo di produzione sarà controllato per mantenere i limiti superiori ed inferiori delle variabili entro gli estremi tollerati. Questo può essere ottenuto attraverso una continua attività di monitoraggio. Quando questa attività è svolta, come dovrebbe, con strumenti automatici si parla di sistema *closed loop.* L'attuale tecnologia mette a disposizione gli strumenti logici (algoritmi) e fisici (i computer) per realizzare con successo tale concetto.

I processi che possono essere controllati con il computer rientrano in 4 classi principali: *closed and open; processi discreti e a controllo numerico; processi a controllo continuo; test di sistema o di componenti.* Anche se vi sono tra loro notevoli differenze inerenti la progettazione, si possono elencare alcune funzioni comuni:

- capacità di adattamento al processo;
- formattazione e conversione dei dati;
- test dei dati;
- azione di controllo correttiva;
- generazione di resoconti e di rapporti statistici.

---

* Vedasi dello stesso autore «Statistical Processes and Reliability Engineering» edito da D. Van Nostrand and Co, Princeton, N.Y.

Un sistema *closed loop* è caratterizzato dal fatto che in esso l'output viene misurato e controllato attraverso meccanismi di feedback, con l'input. I sistemi *open loop control* non hanno la possibilità di confrontare l'output con l'input, nè, quindi, la capacità di attuare interventi correttivi.

L'attività di test a livello sistema e componenti integra le procedure di assemblaggio, di controllo di qualità, di ispezione, quale quella dimensionale, ed, infine, il controllo di accettabilità, l'andamento dei controlli stessi nel tempo. Questi sistemi costituiscono una sofisticazione rispetto a quelli *closed loop,* permettendo il controllo dei parametri critici del processo, di predire situazioni da controllare, di segnalare preventivamente la necessità di intervenire e di mantenere la storia di tutte le rilevazioni.

In un sistema *a controllo numerico,* l'azione di controllo è regolata con un flusso intermittente (e cioè discreto) di dati rilevati allo stesso punto.

Il meccanismo deve interpretare automaticamente la posizione del singolo dato; un computer può, ad esempio, controllare l'input/output discreto rispondendo ai dati rilevati dai sensori o alle informazioni memorizzate. Si può programmare la sequenzialità logica per monitorare le linee di produzione continuando fino a che il processo non venga interrotto da interventi esterni.

2 — IL MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ

Il processo di controllo, o di "monitoraggio", della qualità è una esigenza assoluta in qualunque tipo di produzione, sia essa in gran parte automatizzata o ancora quasi del tutto manuale. Il concetto si riferisce ad un considerevole insieme di dati di sicura affidabilità, alla facilità con cui possono essere eseguite operazioni di memorizzazioni e di ricerca, a capacità di calcolo in grado di realizzare verifiche, per mezzo di confronti con valori standard, estrapolazioni ed interpolazioni.

Il *quality database* deve contenere: la situazione rilevata in determinati periodi (la settimana attuale, l'ultima e la media trimestrale); gli errori attribuibili alle macchine ed agli operatori; le stazioni di lavoro i cui rilevati parametri indichino una situazione sottostandard; le stazioni di lavoro fuori controllo e le tendenze rilevate. Tutte queste informazioni dovrebbero costituire un punto di riferimento per gli interventi che il management intraprenderà.

I sistemi di ispezione automatica dovrebbero combinare l'assemblaggio, il controllo di qualità e le tecniche d'ispezione, comprese quelle riferentesi all'accuratezza dimensionale; alle fasi di controllo di accettabilità e di registrazione su computer di tutte le anomalie rilevate, il *quality database.* Egualmente importanti sono le procedure che permettono di prevedere dalla situazione corrente, possibili anomalie ed indicare le necessità di interventi correttivi.

Grazie all'aiuto del computer il sistema dovrebbe poter mantenere oltre ai dati suddetti anche i risultati dell'identificazione di anomalie e delle loro cause; attività questa possibile con una serie ben definita di test che, tutti insieme, riconducono all'attività di controllo dell'intero processo produttivo. La Figura 15.1 illustra un approccio "a livelli" all'architettura da dare a un sistema online per il controllo di qualità.

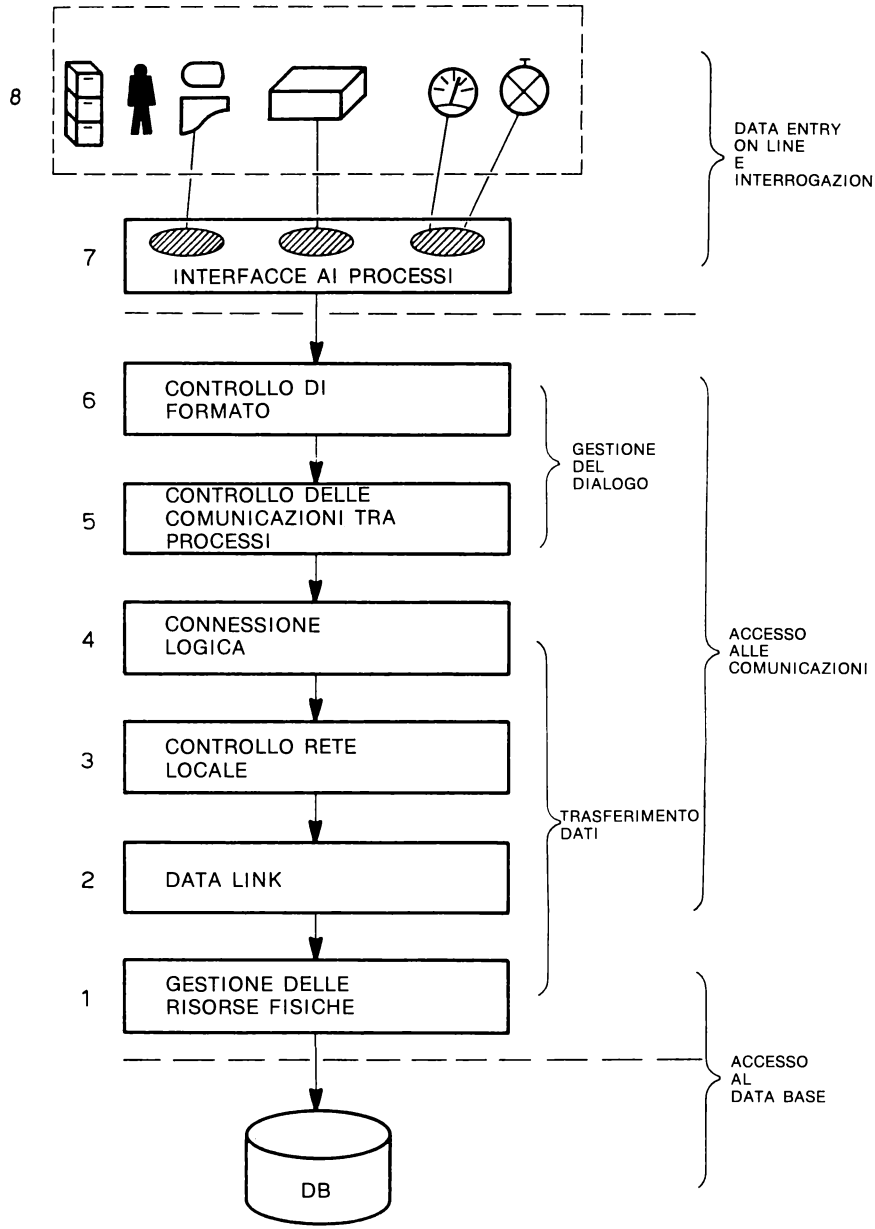


Figura 15.1 — un approccio a livelli all'architettura di un sistema di controllo. I processi possono essere controllati attraverso sensori o input manuale. Entrambe dovrebbero raggiungere un database comune tempestivamente e con la dovuta accuratezza.

Il controllo di qualità ed i test di sistema assicurano maggiore efficienza grazie al test di ogni elemento prodotto in sostituzione della verifica su una campionatura dei beni prodotti; questo garantisce una maggior qualità ai prodotti e quindi maggior apprezzamento da parte del consumatore. Grazie al controllo computerizzato della produzione si possono combinare sia la diminuzione dei costi di fabbricazione sia una vantaggiosa diversificazione di prodotti; ed allo stesso tempo minimizzare le scorte da tenere in magazzino per alimentare la produzione e controllare quest'ultima in modo da far fronte opportunamente ai tempi di consegna previsti.

Un sistema di qualità dovrebbe, inoltre, essere esteso ai dati ed ai vincoli contrattuali sottoscritti dai fornitori, così come alle installazioni presso la clientela.

Per avere la sensazione su quanto validamente il proprio personale dedicato alla produzione opera, il management farà bene a visitare sia i reparti di fabbricazione che gli uffici della fabbrica per esaminare con grande attenzione: le statistiche rilevate dai test, la metodologia seguita e come è applicata, per quanto riguarda la produzione e le garanzie di qualità. Anche il deposito degli scarti è un valido indicatore di qualità.

Come esempio di ciò che stiamo trattando la Tavola 15.1 presenta l'analisi dei difetti a livello di processo e di componenti rilevati su due computer alla fase finale della loro produzione:

— "A" identifica una nuova CPU;

— "B" identifica un processore "ricondizionato".

Tavola 15.1: Analisi delle anomalie e dei guasti di componenti durante i test delle unità e della configurazione di sistema

1. Test a livello unità	**"A" (nuova CPU)**	**"B" (CPU ricondizionata)**
Tipi di difetto		
— Collegamenti mancati sul Back Panel	8	9
— Scarti	1	2
— Collegamenti interrotti	—	1
— Falsi contatti	1	—
— Anomalie nelle saldature	1	3
— Giunture a secco	1	—
— Piedini ricurvi che mancano i contatti	1	—
— Avvolgimenti difettosi	—	1
— Guasti nei circuiti integrati	3	1
2. Test a livello sistema		
Tipi di difetto		
— Scarti	1	—
— Collegamenti interrotti sul Back Panel	2	—
— Anomalie nei collegamenti delle piastre	—	1

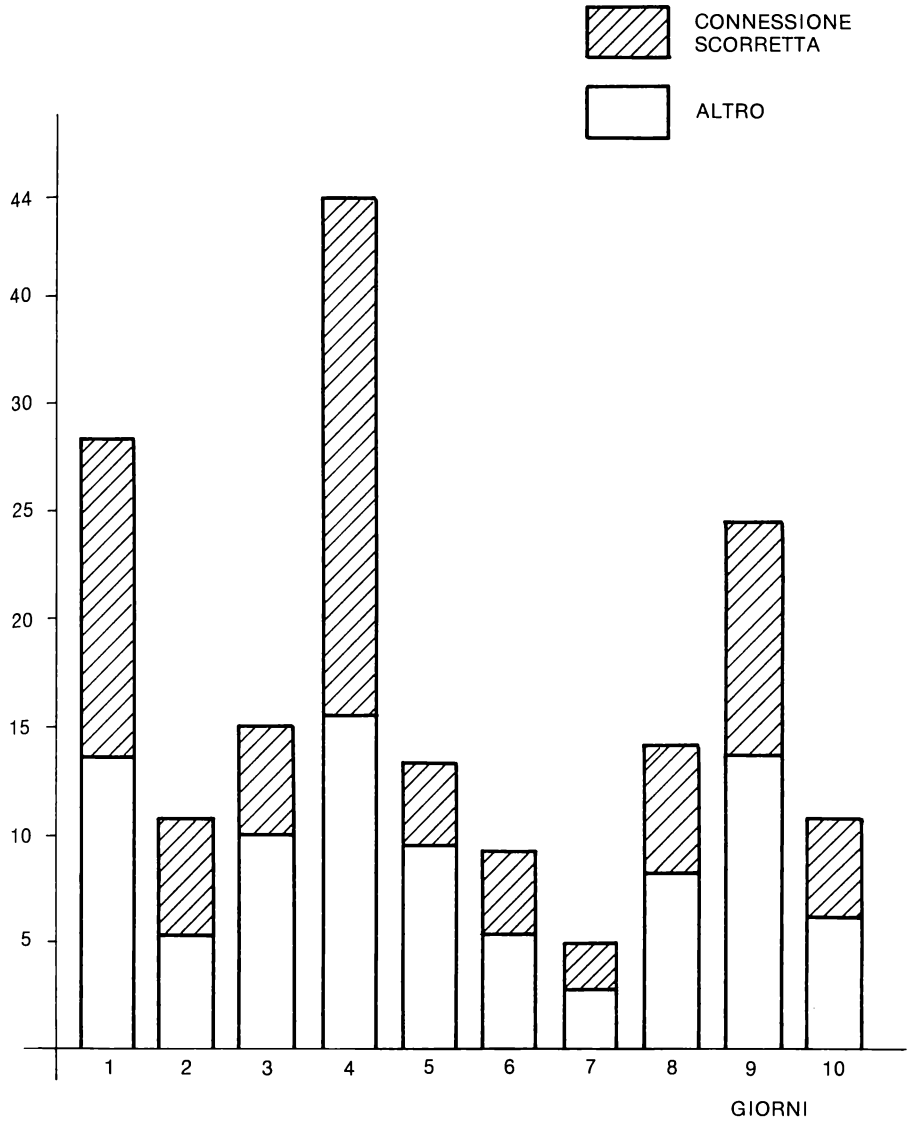


Figura 15.2 — un campione di 10 giorni estratto dalle statistiche giornaliere di un'industria produttrice di computer, identificante i collegamenti omessi su un *background panel.*

Sono particolarmente interessanti le statistiche sulle anomalie rilevate: come è da attendersi, la percentuale più alta si riferisce ai processi manuali. Per la nuova CPU, ad esempio, i fili di collegamento mancanti, o "dimenticati", sono 8 su un totale di 2000, cioè: 8:2000 = 4 x 10^{-3}; per un processo di saldatura a secco è invece di 1 su 320.000, cioè: 1:320.000 = 3 x 10^{-6}; il che significa tre ordini di grandezza di differenza in favore del processo automatico. La Figura 15.2 illustra un campione di 10 giorni estratto dalle statistiche giornaliere della fabbrica e documenta che la "dimenticanza" di otto o nove cavi di collegamento da sistemare manualmente è meglio della media. Queste statistiche sono preziose per informare il management, sia perchè possa effettuare gli opportuni interventi sia perchè possa valutare l'opportunità di nuovi investimenti.

Altrettanto interessanti sono le statistiche che si riferiscono ai difetti rilevati durante l'ispezione sia di macchine nuove che "ricondizionate" eseguite secondo gli stessi criteri. Anche se il totale è tecnicamente insignificante, riportiamo la somma rilevata alle unità di test:

— 17 per la nuova CPU,

— 17 per la "ricondizionata",

ed i test effettuati a livello di configurazione hanno segnalato 3 difetti per la prima ed 1 per la seconda.

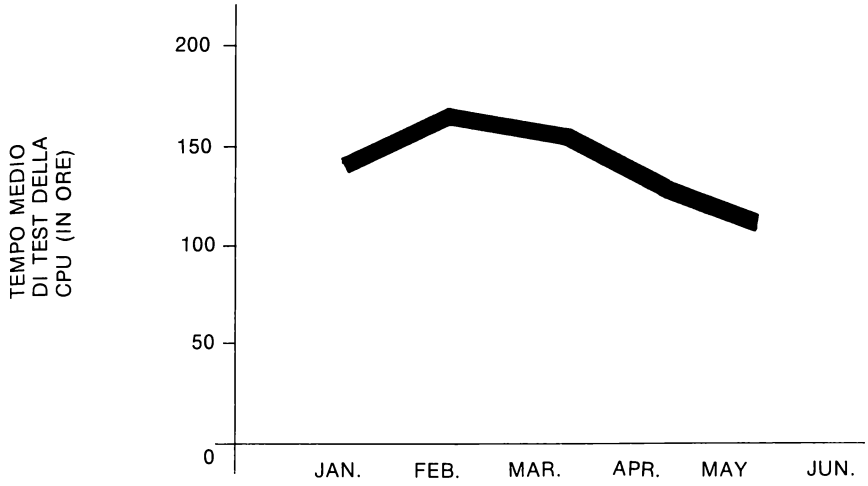
Tavola 15.2: Tempi di test per «qualit assurance»

	Tipi di test	
	Unità	**Sistema**
"A" (nuova)	121,6 ore	143,9 ore
"B" (ricondizionata)	96,4 ore	116,3 ore

La Tavola 15.2 identifica i tempi di test necessari per le garanzie di qualità (a livello di sistema e di unità) per due differenti apparecchiature prodotte, come confermò la fabbrica in questione, sulla stessa linea. Si confrontano poi queste statistiche, relative alle due CPU ed alle configurazioni complete di sistemi, con il tempo medio di test previsto dalle procedure della fabbrica. Il tempo dedicato ai test è una funzione degli inconvenienti riscontrati (Figura 15.3).

3 — IL PROCESSORE PER LA MANUTENZIONE

Nell'introduzione a questo capitolo abbiamo parlato del controllo di processo e poi definito i concetti di *closed e open loop.* Le statistiche di qualità considerate nel paragrafo precedente rientrano nel tipico caso di *open loop:* i dati sono mantenuti appropriatamente ma la procedura resta sostanzialmente manuale. Perchè non si dovrebbe usare un computer?



	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY
UNITÀ SOTTOPOSTE A TEST	3	5	4	5	4
TEMPO MEDIO DI TEST	146.2	161.6	157.8	128.4	104.3

Figura 15.3 — il tempo dedicato ai test è funzione dei difetti che sono stati scoperti. Il grafico illustra alcune statistiche.

Questo è il tipo di domanda che si devono porre anche gli stessi progettatori e produttori di computer. Dopo tutto un complesso sistema di computer assomiglia ad un processo: che si producano beni o dati è una caratteristica che riguarda la finalità del processo in se stesso; i principi basilari restano però molto simili. Seguiremo ora, come esempio di ciò, l'applicazione, ormai in via di affermazione, realizzata con il *maintenance processor.*

I più recenti annunci nel campo dell'hardware di computer (come la serie 4300 della IBM o la serie DPS8 della Honeywell) prevedono un processore dedicato alle funzioni di diagnostica e di manutenzione. Il principio è semplice: offrendo la possibilità di manutenzione remota grazie ad un mini dedicato si permette allo specialista dedicato alla manutenzione di effettuare test e diagnosi sulla macchina *come se* egli operasse in loco. L'obiettivo subito seguente è quello delle statistiche di qualità.

Come ben sappiamo per esperienza fatta con ogni tipo di sistema, i vantaggi ottenibili con il *maintenance processor* dipenderanno da:

— lo scopo per cui lo si usa;

– come e

– quanto lo si usa.

Il processor dedicato alla manutenzione dovrebbe permettere il mantenimento di una "storia della qualità", oggi non disponibile: quasta possibilità però potrebbe restare del tutto inutilizzata se le persone non sono state opportunamente addestrate; questo vale inoltre per i test online che, oltre che capacità, richiedono software speciale.

Dal punto di vista sistemistico resta il fatto che il *maintenance processor* è un'enorme novità nella produzione di qualità ed efficienza, soprattutto nel campo dei computer. Sarà la combinazione di 2 fattori principali, quali l'incorporazione del *maintenance processor* ed il fatto che i computer tendono in generale ad essere più affidabili (grazie ad una minor quantità di piastre, a un minor numero di giunzioni e di collegamenti) e a permettere la realizzazione di apparecchiature a loro volta più affidabili; saranno il software e le caratteristiche operative il vero punto cruciale di questa tendenza.

Il significato ed il valore che assume la disponibilità di un minicomputer dedicato al controllo di qualità ed alla manutenzione per:

– l'utente,

– lo specialista dedicato alla manutenzione,

– l'ingegnere di produzione e

– il progettatore,

possono ben essere esemplificati dai risultati che ciascuno è in grado di ottenere.

L'*utente* deve conoscere per ciascuna unità (ed in certi casi per ciascuna sottounità) del sistema:

1. il tempo di accensione (start/stop);

2. il tempo di operatività (statistiche, accounting, turnaround, I/O, comunicazioni e accessi al data base);

3. gli eventi insoliti (il tempo di fermo, la lista delle diagnostiche eseguite, le riparazioni in corso, l'attesa di parti di ricambio, anomalie hardware e software, situazioni bloccanti del data base).

Lo specialista dedicato alla manutenzione ha bisogno di conoscere:

1. le diagnosi dei guasti (con capacità di identificare i sintomi, di ricostruire le situazioni anomale e di mantenere le opportune registrazioni);
2. l'esatta configurazione tenendo conto delle revisioni hardware e delle release software;
3. i risultati diagnostici (localizzazione del guasto, intervento sui componenti e relative conseguenze, possibilità di sperimentazione).

L'ingegnere di produzione richiede:

1. correlazione dell'intervento per il controllo di qualità con i risultati ottenuti nelle installazioni presso l'utente (MTBSI, MTOSI);
2. la possibilità di considerare un mix di prodotti e di attività in determinate condizioni ambientali;
3. le cause del guasto, a livello sistema, ambiente e situazioni operative.

Il *progettatore* ha invece bisogno di informazioni molto approfondite, fino al livello dei componenti fondamentali, capaci di integrare i precedenti dati di qualità in un'unica e coerente situazione. L'obiettivo principale è l'affidabilità unitamente alla volontà di bilanciare le caratteristiche del progetto con la scelta dei materiali, i costi, i tempi stabiliti ed in generale l'efficienza del prodotto finale. Queste considerazioni diventano ancor più critiche in quanto i sistemi tendono ad operare sempre più online, in ambienti meno controllati e a diretto contatto con l'utente finale. Ancora una volta l'esperienza che viene dall'industria ci può essere di valido aiuto per ottenere i migliori risultati.

In altri termini nella attività di progettazione del futuro *maintenance processor* e delle relative applicazioni in reti locali e remote, vi sono alcune lezioni che potrebbero esserci utili e che ci vengono dall'*AUTO – automated unit test operation*, progettato e realizzato come componente basilare nei sistemi informativi e di controllo industriali, allo scopo di supportare attività di test per CPU, SCU – *system control unit*, multiplexatori di input/output ed altri componenti caratteristici dei mainframe.

4 – UN APPROCCIO A LIVELLI

Vediamo ora come gli stessi principi possono essere applicati ad una linea di produzione. In svariate occasioni abbiamo sottolineato che la garanzia di qualità di un prodotto non è uno standard monolitico; è invece un preciso e continuo processo che deve essere in grado di garantire che le specifiche sono osservate in accordo con la capacità dei reparti produttivi di rispettare le tolleranze prestabilite e gli altri standard di qualità, come quelli riguardanti il ciclo di vita del prodotto.

Nel particolare esempio che illustreremo, il progetto per le garanzie di qualità includeva i requisiti tecnici per lo sviluppo e la realizzazione di un sistema distribuito per il test di componenti destinati ai mainframe; sistema capace di utilizzare pannelli di manutenzione controllati da microprocessori. L'intera attività comprendeva:

- a *livello 1* il database;
- a *livello 2* le routine per il trattamento delle transazioni;
- a *livello 3* le comunicazioni;
- a *livello 4* il controllo del software;
- a *livello 5* le operazioni.

Sono due i componenti base che costituiscono questo sistema e lo rendono in grado di effettuare i test delle unità. Il *test driver* utilizza un computer microprogrammato periferico per comunicare con l'operatore e controllare l'esecuzione dei vari test. Questo è connesso a un *maintenance panel adapter* che gli permette di leggere e scrivere formati di dati sui vari *control and data switches* disponibili sul *maintenance panel* del processore centrale.

La capacità di supportare il sistema di test richiede una dettagliata comprensione del metodo per generare e modificare gli stessi test. La metodologia è molto complessa e richiede personale molto capace ed altamente addestrato. In generale richiede:

- il caricamento di determinati dati di test;
- documentazione online;
- archiviazione degli errori;
- aggiornamento e messa a disposizione degli archivi storici;
- aggiornamento della lista degli errori conosciuti;
- archiviazione molto precisa dei tempi di ciclo dei test;
- risultati facilmente gestibili e ad alto contenuto informativo.

La capacità di *test control* di un sistema permette al management di investigare meglio e sviluppare i metodi per migliorare il processo di test delle singole unità di sistema. Man mano che queste capacità migliorano si possono aggiungere ulteriori facoltà per affinare l'accuratezza dei test, come il tempo di esecuzione dello stesso test, la precisa individuazione del punto del test in cui si è rivelato l'errore, archivio degli errori con i relativi collegamenti e rimandi alle soluzioni, attestazione di lavoro eseguito ed in generale statistiche a livello di sistema.

Quando si verifica un errore il modulo di test scrive l'identificatore del test in esecuzione su disco e registra l'errore. Il rapporto sugli errori rilevati dovrà contenere:

- data e ora dell'evento;
- identificazione dell'applicazione che ne è stata interessata;
- identificazione del test che ha rilevato l'anomalia;
- *dump* dello stato dei dati;
- identificazione del segnale anomalo;
- indicazione del componente guasto più probabile;
- livello di revisione dell'applicazione;
- livello di revisione del software di test;
- qualunque altro dato riguardante l'anomalia.

Questa informazione viene visualizzata e genera una transazione di errore che permette l'archiviazione dell'errore stesso. Vi sarà poi una routine che scandirà l'archivio storico dei guasti e riporterà adeguatamente le informazioni ivi contenute. L'archivio storico è composto dai guasti precedenti e dalle soluzioni usate per risolverli.

L'operatore può ora richiamare il modulo di software per aiutarlo a isolare il guasto ed accelerarne la soluzione, che può essere inserita nel sistema dallo stesso operatore.

Un cattivo uso dell'archivio delle soluzioni comporterà una collocazione di informazioni illogiche nel sistema; è assolutamente necessario che tale archivio sia mantenuto dagli specialisti.

Se un tipo di errore nell'archivio storico si manifesta come ricorrente l'informazione dovrà essere passata agli specialisti del controllo di qualità in quanto potrebbe trattarsi di un problema relativo al processo produttivo. È di per sè evidente il grande impatto di questa metodologia sulla localizzazione delle anomalie.

La procedura sopra descritta identifica a un certo livello di dettaglio le condizioni di fondo che sono necessarie per stabilire una valida metodologia di *quality assurance*. Ma anche se la metodologia è solida, se il computer opera online con il giusto software e se tutto può indicare che vi sono i presupposti per ottenere buoni prodotti, è anche vero che, come sempre, la forza di una catena è quella del suo anello più debole. E l'anello più debole della catena, in questo caso, è l'uomo.

Le macchine estendono ed aumentano le capacità della gente, ma a condizione che tali capacità esistano. Le macchine non possono sostituire personale valido, di solide basi, capace. È preciso compito del management far capire chiaramente al proprio personale che si deve convertire, senza riserve, alla nuova tecnologia; che deve aprire le proprie vedute e caratterizzare la propria attività in azienda con l'attivismo e il dinamismo.

La produttività e l'efficienza dovrebbero essere gli obiettivi di chiunque e tutti dovrebbero trarne vantaggio. Automazione o no, sono le persone che lavorano che sono il punto centrale di ogni processo o attività; più capaci ed addestrate sono le persone, più sono desiderose di adeguarsi alle nuove situazioni e alle nuove tecnologie e meglio è sia per i singoli individui che per tutta la società.

5 — CONVERTIRE LE RISORSE PRODUTTIVE

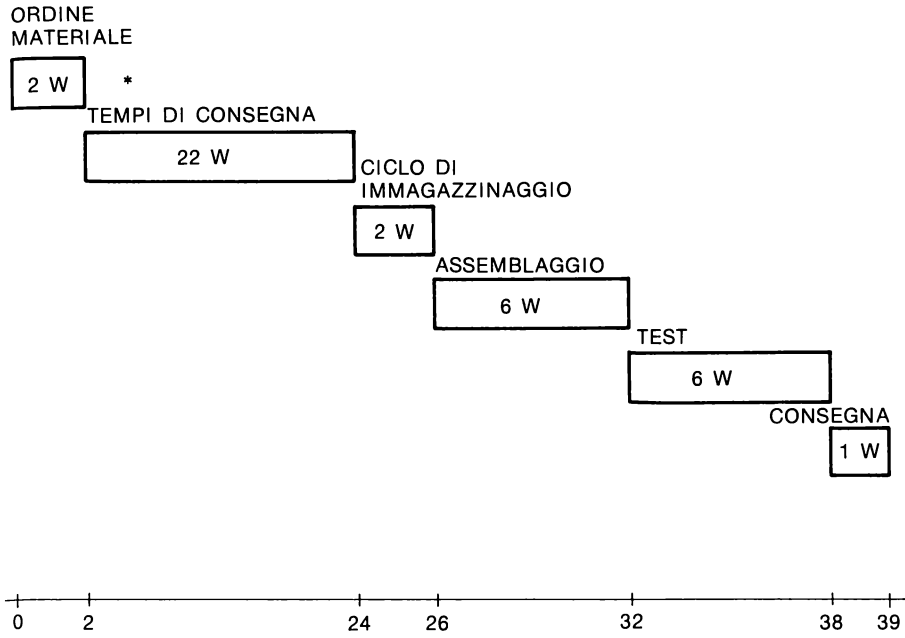
Abbiamo stabilito che un sistema di computer è un po' come una industria produttiva: i beni sono rappresentati dalle capacità e l'efficienza logica, dal trattamento dei numeri e dati. Vi sono due altre ragioni fondamentali che rendono sensata questa analogia: essendo un sistema composto da unità elaborative, sia centrali che periferiche, entrambe programmabili, esso ha analogie con un certo tipo di industrie robotizzate; inoltre oggi abbiamo molta più esperienza con i sistemi di computer che con la robotica.

Il tipo di valutazione e di esame tipici del processo di ispezione per computer «ricondizionati» rivela una particolare attenzione per i dettagli. In una fabbrica robotizzata questo tipo di procedure caratterizzerà sia i computer da installare che il sistema degli stessi robot. Sarà compiuto proprio qui lo sforzo maggiore per mantenere sotto controllo il processo. Deve essere ovviamente posta la questione riguardante l'interesse economico che deriva dall'operazione di ricostruzione o "ricondizionamento" in alternativa alla fabbricazione di nuove unità. Nel caso specifico di mainframe ricondizionati che stiamo considerando, controllati e sfrondati i costi dei macchinari, il costo del ricondizionamento si è rivelato quasi uguale a quello che si deve sostenere per costruire una nuova CPU. Vi sono però altri fattori, quali le tasse, i tempi di realizzazione, gli scarti, la riutilizzabilità dei componenti (51 piastre su 81 si rivelarono ancora utilizzabili), che indicano l'opportunità del ricondizionamento.

Particolarmente importante è il riferimento fatto ai tempi di realizzazione; e questo soprattutto perché il lasso di tempo necessario per procurarsi componenti ed altre parti acquistate da vari fornitori, prendeva, al tempo di questo studio e conteggiando anche l'attività produttiva, circa 40 settimane (Figura 15.4). Il corrispondente lavoro di ricondizionamento venne effettuato in 10 settimane.

Consideriamo ora questo caso un po' più in dettaglio. La CPU di un computer è progettata per raggiungere determinati obiettivi in termini di capacità elaborativa e di opzioni e funzionalità offerte. L'operazione di ricondizionamento della CPU può influire su ciascuno di questi aspetti o su tutti insieme. Per ogni significativo cambiamento, riguardante le variabili che fanno parte dell'equazione definente la capacità, il peso svolto dalla produzione si rivela in particolar modo quando sono interessate funzionalità di carattere generale che richiedono il mutamento delle interconnessioni.

Se il lavoro è fatto correttamente, secondo precise premesse di fabbricazione, il processo di ricondizionamento influenza evidentemente, in modo definito, le caratteristiche di qualità e di affidabilità; da ciò segue la necessità di stabilire corrette



39 SETTIMANE IN TOTALE:
MATERIALI: 26/39
ASSEMBLAGGIO: 6/39
TEST: 6/39
PIÙ UN INTERVALLO «POLMONE» TRA IL COMPLETAMENTO INTERNO E LA CONSEGNA EFFETTIVA

* W = SETTIMANE

Figura 15.4 — fasi temporali tipiche, rilevate nel 1980 per acquisire componenti di base e per altre attività che influenzano grandemente il tempo totale necessario per costruire un mainframe.

metodologie di ispezione capaci di assicurare che l'apparecchiatura ha subito gli interventi voluti.

Ricapitolando, gli obiettivi, in un processo di conversione di CPU, sono di:

- aggiungere opzioni,
- dare alla CPU le funzionalità tipiche dei processori nuovi,
- assicurare validi livelli di qualità.

Gli stessi metodi, sistemi, test e apparecchiature di test sono quelli che devono

essere usati per la costruzione di nuove CPU. Il processo di conversione si divide in più fasi: quali:

1. l'ispezione e il controllo al momento dell'entrata;
2. definizione di eventuali parti funzionali mancanti;
3. smontaggio del sistema a determinati livelli.

Queste fasi sono un po' in parallelo con quelle che abbiamo individuato per la costruzione di nuove macchine (Figura 15.5). In entrambi i casi la garanzia di qualità è una preoccupazione a partire dal disegno della scheda fino alle attività di ricerca, approvvigionamento, accettazione, assemblaggio e test dei componenti.

Una volta che siano stati correttamente soddisfatti i prerequisiti, può iniziare il lavoro di controllo e verifica delle singole unità: in tutte le fasi devono esservi le opportune garanzie affinchè il prodotto "ricondizionato" sia revisionato e ricondizionato completamente, con le caratteristiche tipiche di un prodotto nuovo di fabbrica. Nel particolare caso che stiamo seguendo, su 81 piastre contenute nella CPU, 30 furono sostituite con altrettante completamente nuove e precisamente:

- si dovettero cambiare 20 piastre basilari;
- per 10 si poteva scegliere se cambiarle o meno; si decise comunque di cambiarle;
- fu aggiunto un decimo backpanel;
- fu modificato il panel di manutenzione;
- fu totalmente rifatto l'impianto di collegamento dei backpanel.

L'approccio al problema dei backpanel consiste nel rifare singoli moduli, sostituirli o eliminarli del tutto: cinque furono rifatti e ricollegati, ne fu aggiunto poi un sesto.

Furono verificate tutte le piastre, singolarmente; per ciascuna di esse venne stabilito un preciso rapporto. Ogni componente fu valutato singolarmente, ai seguenti livelli:

1. *Backpanel*

- test sulle interconnessioni semiautomatiche;
- verifica dei cavi e rapporto sullo stato individuato;
- esame della cassa di assemblaggio delle schede;
- valutazione sull'assemblaggio dei backpanel.

2. *Schede*

In generale la profondità e la quantità dei controlli dipende dal cambiamento di modello voluto. Il cambiamento di piastre è in ogni caso un'attività molto significativa in quanto comporta la necessità di qualcosa come 250 ore di test.

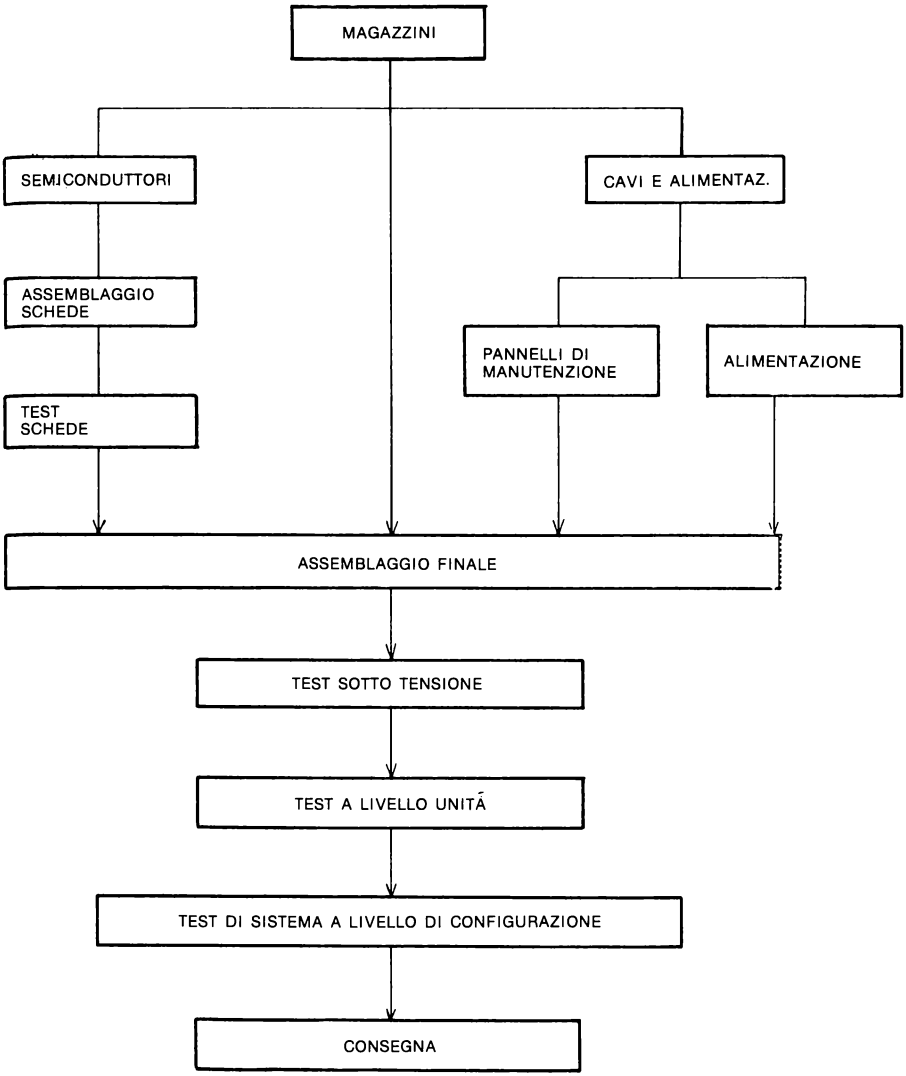


Figura 15.5 — fasi che sono tipicamente seguite nella costruzione di apparecchiature elettroniche; a partire dai semiconduttori fino all'assemblaggio delle piastre, al test delle piastre stesse, alla stesura dei cavi di collegamento ed al lavoro manuale necessario, all'assemblaggio finale, al test sottotensione, sia a livello di unità che di sistema ed alla consegna finale.

3. *Canali*

4. *Assemblaggio a livello cavi*

5. *Test del panel di manutenzione*

6. *Assemblaggio conclusivo*

7. *Test per unità*

8. *Test finale a livello sistema.*

Ovviamente se nella macchina vengono integrate nuove schede si hanno ripercussioni sui cavi, sui connettori di collegamento delle piastre e sulle saldature.

Le attività di taratura comparativa e di test "assoluti" sono assolutamente necessarie per ridurre il problema delle variazioni e scompensi tra le apparecchiature e gli stessi strumenti di test.

Qualsiasi considerazione dell'ingegneria di qualità farà riferimento a:

— valutazione e descrizione dei processi:

— procedure e documentazione di controllo;

— standard di qualità predefiniti;

— metodi di ispezione;

— raccolta di dati;

— controllo degli strumenti di test;

— sistema per il controllo della qualità ai vari livelli.

La Figura 15.6 dettaglia le fasi che seguono all'entrata in fabbrica della CPU da "ricondizionare" fino al test finale ed alla messa in consegna.

Il sistema computerizzato di controllo di qualità raccoglie i risultati delle ispezioni e dei test rilevati in ciascuna area e produce settimanalmente rapporti e statistiche per ciascuna area di lavoro, con particolare riferimento a:

— curva di distribuzione dei guasti e delle anomalie riscontrate;

— interventi dell'operatore addetto ai suddetti guasti;

— indicazioni e dati per decisioni a livello manageriale.

Tale sistema computerizzato assicura che l'azione decisa dal management sia controllata e verificata in modo che si possano ottenere i risultati effettivamente desiderati. Questo vale particolarmente per i costi. Nel caso in esame i costi derivano principalmente dall'attività di rilavorazione.

Ogni livello di ispezione e di rilavorazione richiede propri prerequisiti e proprie procedure tecniche. Per ogni macchina è definito un preventivo programma di ma-

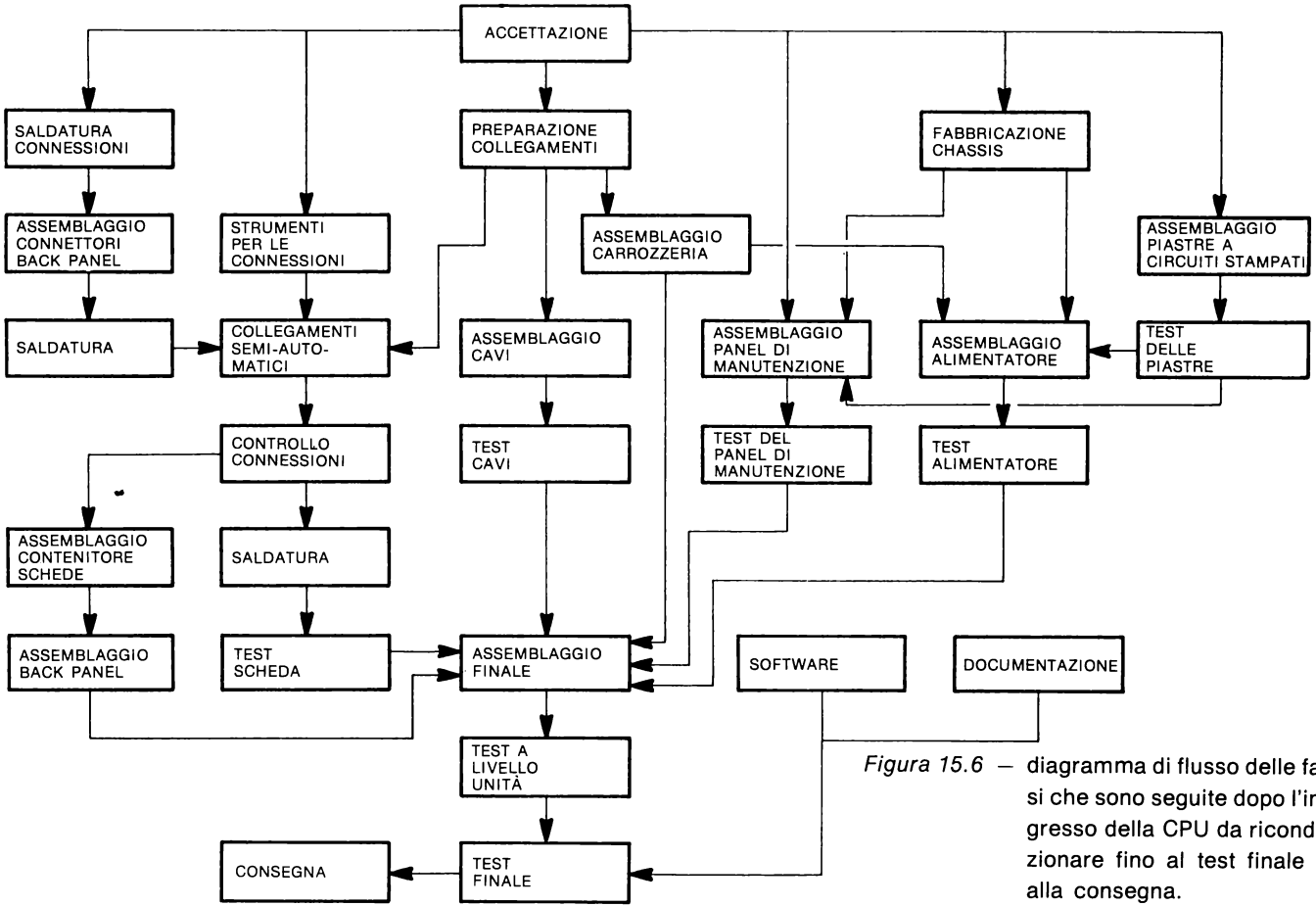


Figura 15.6 — diagramma di flusso delle fasi che sono seguite dopo l'ingresso della CPU da ricondizionare fino al test finale e alla consegna.

nutenzione; la rilavorazione e la "riqualificazione" delle parti è controllata in determinate aree dedicate esclusivamente all'attività rispettiva. Vengono effettuati test per i cavi ed il collegamento e la qualità è controllata con un'ispezione al 100%.

Nell'area di saldatura, i fluidi usati nei processi di prepulitura, di preservazione, di saldatura e di pulitura definita devono essere esaminati per campionatura ogni mese ed inviati ad analisi esterne.

Possibili deviazioni nelle caratteristiche dei materiali possono essere autorizzate solo dal management, problema per problema.

6 — RIMUOVERE I DIFETTI FUNZIONALI

La funzione principale del test delle piastre sta nel rilevare e rimuovere i difetti funzionali introdotti dai processi di fabbricazione; è il caso, ad esempio, dei residui del processo di produzione che possono essere conduttori, di punti di saldatura difettosi e di anomalie dovute alla mortalità infantile dei componenti.

Tutte le piastre di sistema sono sottoposte a controllo e verifica con piastre standard di test MOX. Ogni piastra è tenuta sotto test in condizioni di voltaggio maggiore e minore di quello stabilito.

Nell'area di assemblaggio molte operazioni sono effettuate o controllate dall'uomo; l'organizzazione tende a minimizzare disturbi ed interferenze nell'area dedicata ai test. Le parti dedicate all'alimentazione ed alla manutenzione e le principali unità in genere subiscono test funzionali relativi alla potenza in ingresso.

La funzione principale del test per unità è finalizzata alla rimozione delle anomalie "infantili" (Figura 15.7) e all'identificazione dei componenti che non operano correttamente all'interno di predefinite condizioni *marginali* di funzionamento, quali quelle riferentesi al voltaggio ed ai tempi di reazione.

Tutte le maggiori unità devono essere sottoposte a test singolarmente; questo vale, ad esempio, per le CPU e le unità di I/O. La CPU deve operare continuativamente per 10 ore senza alcun errore, in condizioni di variazioni delle marginature di vibrazioni. È questo uno dei modi per provocare ed identificare guasti, anomalie e debolezze.

Come abbiamo già avuto occasione di dire, il tempo previsto per i test è funzione della qualità che si vuol garantire al prodotto. Una "buona" CPU dovrebbe aver subito almeno 25 ore di test; se invece rivela errori e anomalie il tempo può aumentare fino a 140 o anche 250 ore. La qualità del personale addetto influenza ovviamente tutti questi tempi.

La Tavola 15.3 presenta la media mensile e dell'ultimo trimestre in merito ai test di sistema eseguiti per determinate unità; secondo quanto stabilito dall'azienda da cui stiamo riportando l'esempio.

Durante le fasi di test il voltaggio ed il tempo, che interviene come parametro in più variabili, possono essere variati dinamicamente. In particolare il voltaggio subisce variazioni dell'ordine del $\pm$ 5% del valore nominale.

I metodi d'ispezione sono conseguenza di una solida pianificazione dell'ingegne-

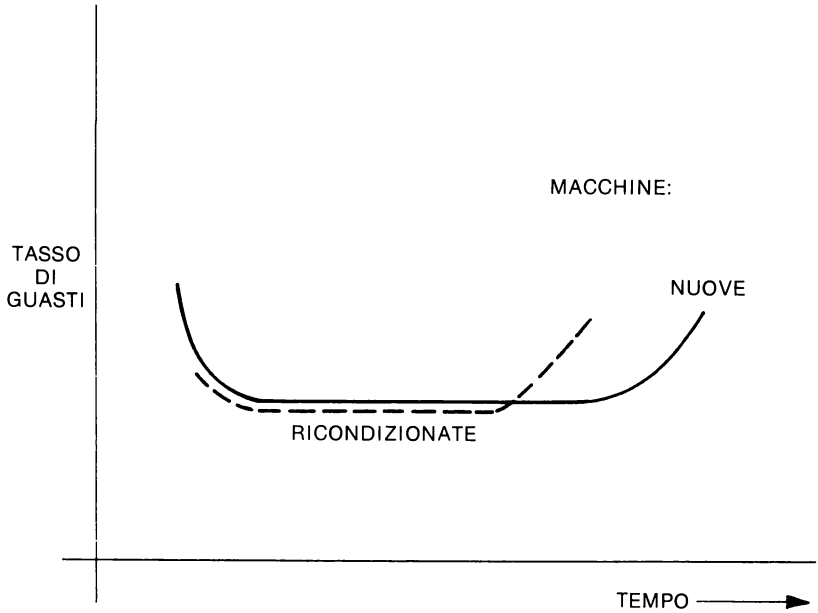


Figura 15.7 — qualunque sistema, naturale o realizzato dall'uomo, rivela un'alta percentuale di anomalie nei giorni iniziali di esistenza (mortalità infantile) così come verso la fine del suo ciclo di vita (anomalie da logoramento). Un sistema ricondizionato tende ad avere una curva di affidabilità piuttosto differente.

Tavola 15.3: Tempo medio di test per unità

Modello	**Media mensile (ore)**	**Media ultimo trimestre (ore)**
Sistema	121,6	154,9
DP Master	—	170,1
DP Slave	86,9	142,4
U.R	11,8	18,9
I/O	13,5	9,8
Controllo di memoria	45,0	21,4
Front end	42,2	33,0
Unità disco	—	12,0

ria destinata al controllo di qualità. È in base a questi che si passa ai controlli per campionatura dopo che sono state verificate le capacità di elaborazione e ripristino a fronte della maggior parte dei possibili errori. Al momento precedente la consegna viene fatta una verifica all'interno della configurazione prevista per il cliente ed una revisione dei risultati di tutte le prove precedenti.

Sono seguiti predeterminati criteri di accettazione finale comprendenti la documentazione, l'assemblaggio, i processi di interconnessione, di fabbricazione, di rifinitura, di sicurezza e di impaccamento conclusivo.

La strategia di test può essere vista in linea di massima divisa in quattro livelli:

livello 1: subassemblaggio di base (identificazione dei difetti);

livello 2: funzionalità a livello piastra;

livello 3: funzionalità a livello unità;

livello 4: funzionalità a livello sistema e test sotto condizioni di stress.

Il sistema computerizzato per il controllo di qualità raccoglie i risultati dei test e delle ispezioni provenienti da ciascuna stazione di controllo e produce settimanalmente, per ogni stazione

- risultati consuntivi relativi alla qualità;
- confronti tra i valori ottenuti ed i risultati-obiettivo;
- informazioni sugli interventi dell'operatore;
- feedback;
- curva di distribuzione dei difetti;
- calcolo della tendenza nei fenomeni rilevati;
- valutazioni sulla qualità e sull'efficienza rilevata.

La revisione per il controllo di qualità viene effettuata secondo i *feedback sheet* con interventi quotidiani dell'ingegneria; questo implica rapporti di consuntivo rivisti settimanalmente con il *senior management* e i relativi interventi correttivi.

7 — PRODUCT ASSURANCE

I processi d'ispezione nelle fasi di ristrutturazione e per il controllo di qualità di cui abbiamo parlato assicurano un buon livello di affidabilità. Il reparto funzionale di *product assurance* provvede ad effettuare controlli seguendo un'appropriata documentazione di test; un piano preciso ed il legame tecnico con la produzione. È la stessa organizzazione che gestisce le problematiche hardware e software e che certifica le successive release prima di rilasciarle alla clientela.

Durante il test i parametri riguardanti il tempo ed il voltaggio sono attivati dinamicamente. In particolare possono essere effettuate le seguenti marginature, in qualsiasi frequenza:

- variazione del voltaggio + 5V del $\pm$ 5% rispetto al valore nominale;
- variazione del voltaggio + 12V del $\pm$ 5% rispetto al valore nominale;

– raggiungimento dei limiti critici per il timing della CPU;

– variazioni di ± 10ns di segnali all'interno delle seguenti unità di controllo:

OU (operation unit)
CU (control unit)
DU (decimal unit).

L'ispezione dopo il test delle singole unità cura particolarmente gli standard dell'intervento umano. L'ispezione, dopo che è stato assicurato il rispetto degli standard all'interno delle tolleranze, si concentra sulla stretta osservanza dell'ordine del cliente. La Figura 15.8 identifica i passi fondamentali del processo di test di un sistema di computer.

Dopo che sono stati completati i test hardware standard (a livello di unit test e di supertest) alla CPU viene collegata la CM – central memory ed un limitato numero di periferiche. Su questa configurazione minima verranno fatti operare test software comprendenti:

– il software di base,

– delle applicazioni opportunamente selezionate (soprattutto programmi di utility).

La produzione dà particolare interesse a questa attività in quanto l'esperienza ha dimostrato che i test con i software di base, fatti sia pur su configurazioni minime, evidenziano difetti che restano invisibili nelle configurazioni più grandi (per es. l'allocazione dello spazio su disco o in memoria).

Un altro tema riguarda l'organizzazione e la struttura. Nel caso che stiamo considerando il management di fabbrica ha correttamente posto l'intero processo di *product assurance e quality engineering* sotto la direzione dello stesso reparto; è da questo che dipendono le varie funzionalità come è illustrato nella Figura 15.9; il tutto è diviso in 5 linee di attività. Tra le varie funzionalità distinguiamo:

– *engineering change control,* che comprende l'autorità e la responsabilità a livello tecnico per il controllo e la realizzazione degli ordini di ricondizionamento dei grandi sistemi;

– *documentation service,* che si riferisce alle attività di organizzazione, di aggiornamento e di identificazione di tutta la documentazione tecnica riguardante le fasi di fabbricazione e di test dei grandi sistemi;

– *system confidence testing,* che specifica le procedure ed i criteri a cui tutti i sistemi devono sottostare per superare la fase di accettazione.

In tali fasi il sistema è sottoposto a sovraccarichi per identificare possibili debolezze. Lo scopo a livello della *system verification* e *confidence testing* è di poter arrivare a stabilire che il sistema potrà operare correttamente nelle condizioni in cui si troverà presso il cliente.

La divisione *software/hardware support* fornisce dettagliatamente analisi di tutti i *dump* di sistema in quanto è lì che si trovano preziose informazioni riguardanti l'interazione tra l'hardware ed il sistema operativo.

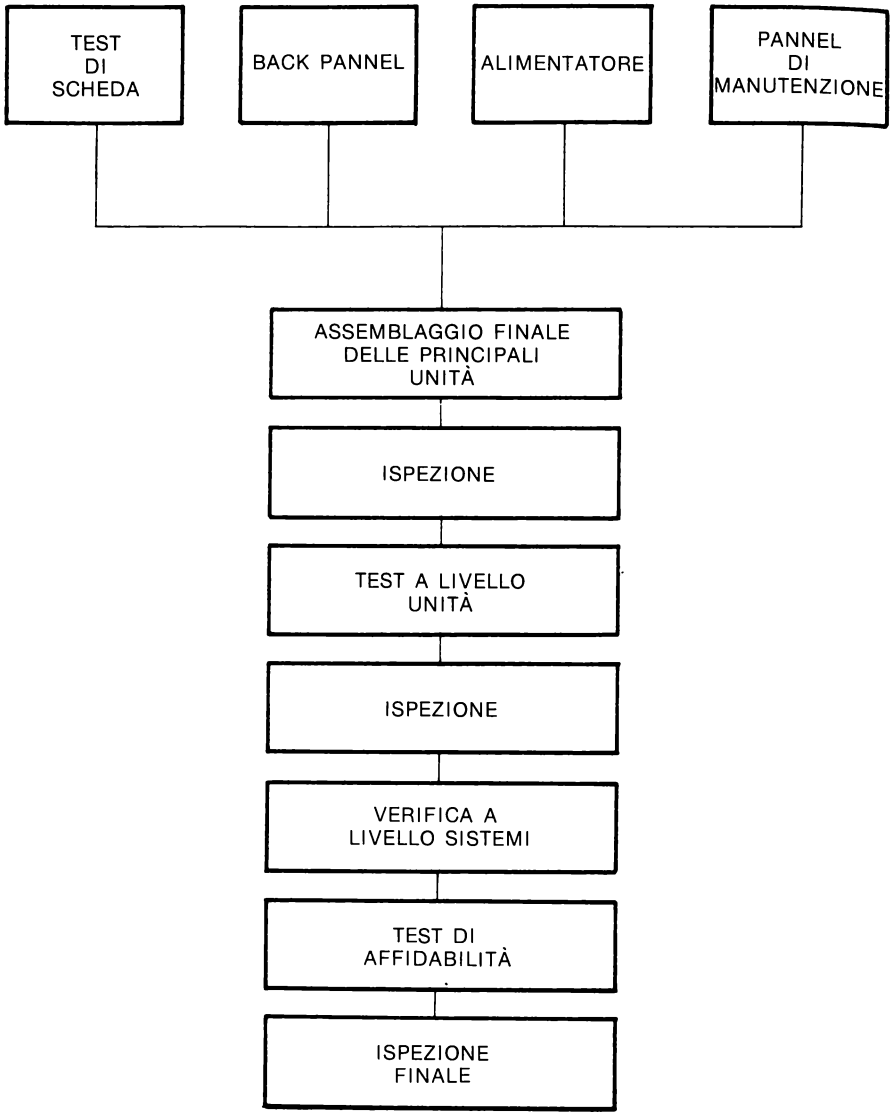


Figura 15.8 — i passi principali nel processo di test di un sistema di computer; anche con la robotica si hanno fasi del tutto simili.

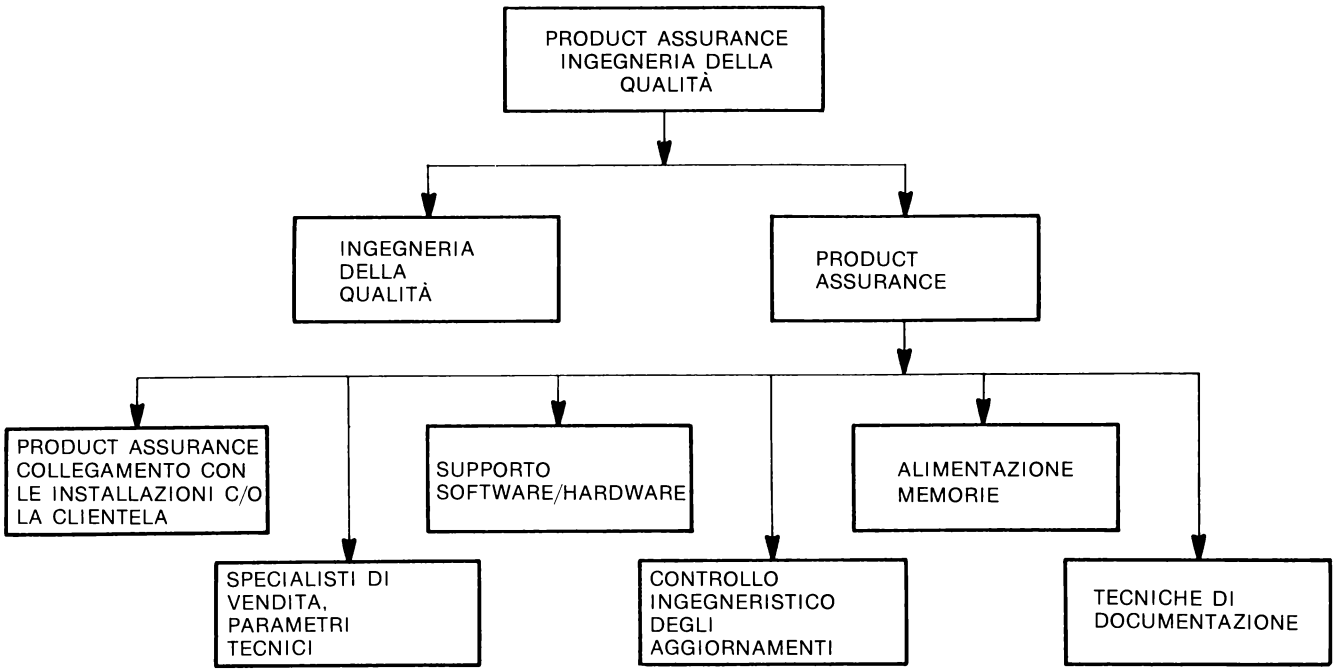


Figura 15.9 — relazioni fra le componenti dei vari reparti per le dovute garanzie di qualità.

La divisione di *vendor engineering* ha lo scopo di definire e tenere aggiornate le nozioni-guida per l'approvazione tecnica della commerciabilità dei prodotti; per l'assistenza tecnica sia interna che presso i clienti e per la definizione dei criteri di accettazione del prodotto.

Quest'ultimo reparto ha procedure di notevole rigore. Per esempio, le procedure sui circuiti integrati in ingresso alla fabbrica, acquistati da altri fornitori. Dieci pezzi per ciascun lotto in entrata sono sottoposti a test e marchiati; il controllo viene effettuato sulle dimensioni, sulla saldabilità, sull'esistenza di contatti o di incrinature; inoltre viene sottoposto a variazioni termiche.

L'uno per cento di tutti i lotti in entrata è sottoposto a test ad una temperatura variante tra i 25 ed i 75 gradi centigradi; questo per stabilirne il funzionamento applicando corrente continua e facendo variare anche altri parametri. Alla temperatura di 25 centigradi il test viene effettuato comprendendo il 100% delle possibilità.

Le memorie MOS da 16K sono sottoposte tutte a test completo in corrente continua e in condizioni di variabilità dinamica dei parametri; tutte sono tenute sotto tensione a 125 gradi centigradi per 16 ore. Lo stesso vale per i circuiti bipolari.

Anche le PROMS sono sottoposte a test parametrici in corrente continua a 25 e 75 gradi centigradi; dopodichè l'unità viene programmata e tenuta in funzione per 16 ore. Viene poi sottoposta ad una intera gamma di escursioni elettriche a 100 gradi centigradi.

Tutto ciò permette di affrontare e di risolvere qualunque problema di natura tecnica che coinvolga la fabbrica e le installazioni presso la clientela. Vengono tenute riunioni a scadenza regolare, almeno una al mese, per verificare le soluzioni, identificare e definire i problemi rilevati, tenere i collegamenti con la fabbrica di produzione.

Continui rapporti provenienti dalle varie installazioni danno la situazione generale e costituiscono una base fondamentale per rinforzare il collegamento tra la produzione ed il servizio tecnico di assistenza.

È una precisa direttiva che i rapporti su tutte le nuove installazioni ritornino alla fabbrica, in cui il sistema è stato prodotto, perché siano attentamente valutati. Questi rapporti devono contenere informazioni su:

- adeguatezza della soluzione logistica approntata dal cliente per sistemare il sistema;
- completezza del sistema consegnato;
- situazione di eventuali danneggiamenti fisici;
- tempo di installazione;
- dettagli su tutte le anomalie funzionali riscontrate.

La fabbrica che ha realizzato il sistema risponde al servizio di assistenza tramite l'intermediazione di un gruppo al quale vengono richiesti interventi correttivi e con il quale si concordano eventuali ampliamenti o estensioni del sistema.

È poi responsabilità della produzione effettuare rigorosi controlli per almeno quattro installazioni ogni anno. Questi vengono effettuati da ingegneri dotati di grande esperienza che rimangono sul posto scelto per il controllo fino alla conclusione di esso. Lo scopo di questi controlli è di ispezionare in dettaglio:

- la completezza del sistema quale era previsto;
- le condizioni fisiche del sistema;
- adeguatezza e completezza delle condizioni logistiche;
- difetti funzionali rilevati;
- tempo d'installazione;
- efficienza.

Ogni intervento ispettivo è seguito da un rapporto dettagliato che si conclude poi in un piano d'azione per realizzare la soluzione dell'eventuale problema. È il servizio per l'assicurazione della qualità che è responsabile per la realizzazione di soddisfacenti soluzioni a fronte di qualsiasi problema. Per controllare le attività in questione ed unificare i dati, l'ingegneria responsabile per la qualità produce rapporti di analisi in base ai dati rilevati ed indicativi per gli interventi da decidere. Questi contengono:

- le *performance charts* per ciascuna area, dettagliando la data di realizzazione di ogni significativo cambiamento procedurale o di qualunque intervento speciale;
- *revised objectives,* con indicazioni di massima su come aggirare il problema, almeno temporaneamente;
- *action proposals* per raggiungere gli obiettivi prefissati;
- *possible alterations;*
- *significant statistics:* dedotte dai rapporti sul controllo di qualità con le indicazioni ed i commenti dell'ingegneria.

Si provvede inoltre a definire attentamente i costi della qualità e delle attività ispettive per permettere al management di destinare le risorse alle aree più remunerative. Come ulteriore sviluppo dell'analisi della qualità e dei rapporti con l'indicazione degli interventi da effettuare, sia il management che i supervisori della qualità possono produrre un'ulteriore analisi sulla stessa efficienza dei reparti destinati al controllo della qualità. Gli elementi fondamentali di tale ulteriore analisi considerano i miglioramenti raggiunti nella qualità del prodotto e nel costo stesso della qualità. Si può arrivare alla visualizzazione grafica dei dati di efficienza e di qualità.

L'elenco seguente è una lista indicativa degli importanti aspetti del sistema per il controllo della qualità:

1. *realizzazione*

   1.1 procedure e documentazioni chiave e facilmente accessibili;

   1.2 totale comprensione dell'operatività del sistema;

   1.3 lista delle categorie di difetti;

   1.4 disponibilità di materiali;

   1.5 attività di supporto e di manutenzione;
   1.6 livello di dettaglio richiesto.

2. *operatività e manutenzione*

   2.1 procedure per il mantenimento della documentazione;
   2.2 controlli su materiale in entrata;
   2.3 procedure di ispezione;
   2.4 cicli di controllo;
   2.5 accuratezza necessaria;
   2.6 massimi livelli di tolleranza.

3. *rapporti*

   3.1 tipi di rapporti di maggior utilità;
   3.2 indicazione delle statistiche di maggior utilità;
   3.3 distribuzione ottimale della documentazione;
   3.4 accuratezza dell'informazione;
   3.5 indicazione delle informazioni scorrette;
   3.6 deduzioni possibili;
   3.7 visualizzazione e rappresentazione dei dati.

4. *applicazioni*

   4.1 possibile imputazione dei costi;
   4.2 ispezione e controllo sui tempi;
   4.3 ispezioni a monte e a valle delle fasi;
   4.4 riduzione degli scarti di produzione;
   4.5 riduzione delle attività di rilavorazione;
   4.6 esame dei costi;
   4.7 opportunità di alcuni interventi.

Nella suddetta lista non vi è un ordine di importanza tra i punti elencati; anzi dovrebbe essere continuamente aggiornata. Come esempio di rapporti di qualità le seguenti figure identificano:

— i difetti per unità;

— la percentuale accettata;

— la percentuale di unità rifiutata (Figure 15.10, 15.11, 15.12, 15.13).

Una tavola comparativa tra le anomalie come percentuale sul totale della popolazione ispezionata ha indicato, all'interno del periodo di tempo esaminato, un tasso di accettabilità del 2%. Sono state usate le seguenti definizioni:

- *unità totale:* numero totale di unità ispezionate;
- *% ispezionato*: riferentesi alla percentuale di unità ricadenti nei campioni ispezionati;
- *% rifiutato*: la percentuale di unità ispezionate che sono state rifiutate;
- *D.P.U.R.*: *defects per unit rejected* e cioè il rapporto tra il totale dei difetti rilevati e il totale delle unità rifiutate.

Viene poi fornito, per ciascuna di queste misurazioni, il totale a livello del prodotto finito.

Ci si permetta, ancora una volta, di ripetere, come conclusione, che l'interesse con cui consideriamo *la qualità* è un fedele indice della volontà di voler rimanere competitivi o meno. Quando parliamo di computer, di comunicazioni, di database online e di robotica, la attività di diagnostica capace di portare a interventi correttivi, è un tema estremamente critico la cui tecnica è in continua evoluzione.

La qualità è un fattore decisivo per poter essere e restare competitivi. Sia le previsioni di mercato che l'evoluzione del prodotto sono le fasi iniziali di un processo che deve assicurare che l'attenzione del management sia concentrata sulla strategia di prodotto. La scelta riguardante la linea di prodotti è una decisione cruciale e tutti noi sappiamo che prodotto e mercato sono due fattori strettamente correlati.

In un mercato altamente competitivo, la necessità di sopravvivere ci obbliga a confrontarci apertamente con le forze di questo decennio. Tutto questo significa: mantenere validi rapporti prezzo/prestazione; curare la produttività; assicurare la qualità e usare la migliore tecnologia a disposizione. I microprocessori sono a nostra disposizione, il CAD/CAM è stato sviluppato a livelli grazie ai quali possiamo considerarlo come uno strumento vantaggioso ed efficace; tutto ciò mentre la robotica promette di rivitalizzare la strumentazione utensile e di produzione e di rivoluzionare l'industria.

Si dovrebbe leggere questo libro con uno spirito di larghe vedute. Il suo obiettivo è di concentrare l'attenzione del management sugli strumenti a sua disposizione e di documentare quanto è stato detto con esempi; questo per evitare di fornire valutazioni del tutto opinabili. In ogni caso non è stato scritto per dare "consigli". Infatti i consigli possono essere dati solo dopo un attento studio del caso particolare e non in forma generica.

L'unica conclusione generale che si potrebbe derivare dal libro è che per molte imprese l'ambiente industriale in cui stanno operando è paragonabile ad un sottile strato di ghiaccio. La loro sicurezza nel pettinarci sopra sta nella velocità. Sarà bene che manager e progettatori tengano in dovuto conto questo paragone.

WC # 590

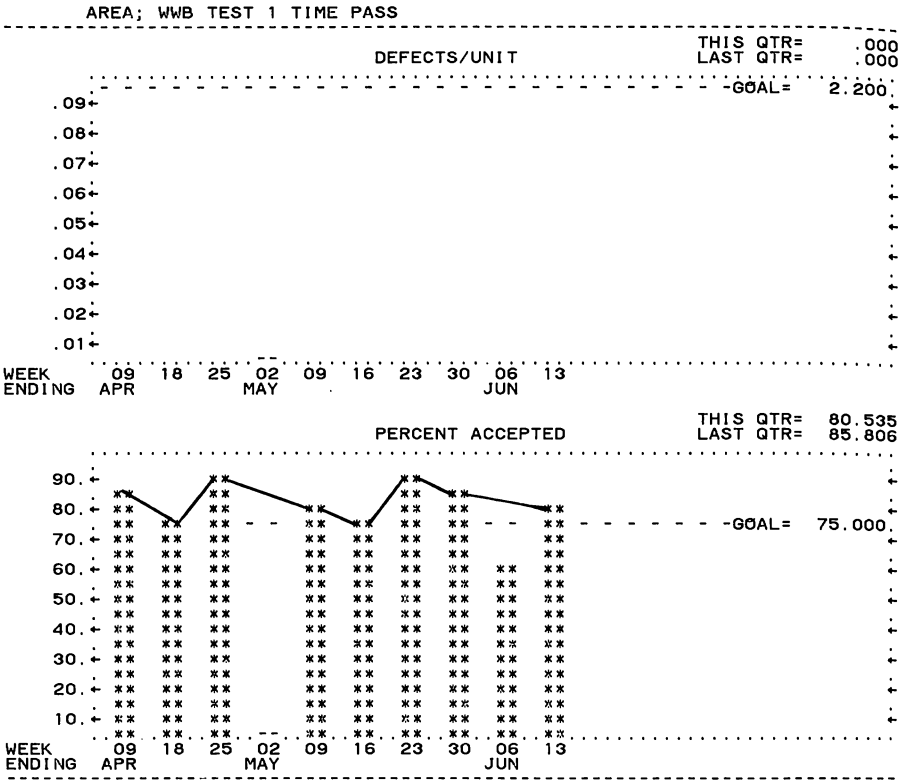
QMS00002 QUALITY REPORT PAGE 1

WEEK ENDING; 06/13/80

THIS WEEK DPU = .000

% ACT= 79.882

AREA; WWB TEST 1 TIME PASS



*** THIS WEEKS RESULTS *** OPERATOR DEFECTS *** MANAGEMENT DEFECTS ***

169 TOTAL UNITS

169 UNITS INSPECTED

34 UNITS REJECTED

0 TOTAL DEFECTS

1 TOTAL LOTS

0 LOTS REJECTED ---- 0 *TOTAL* ---- 0 *TOTAL*

0 TOTAL OPERATORS

WC # 590

Figura 15.10

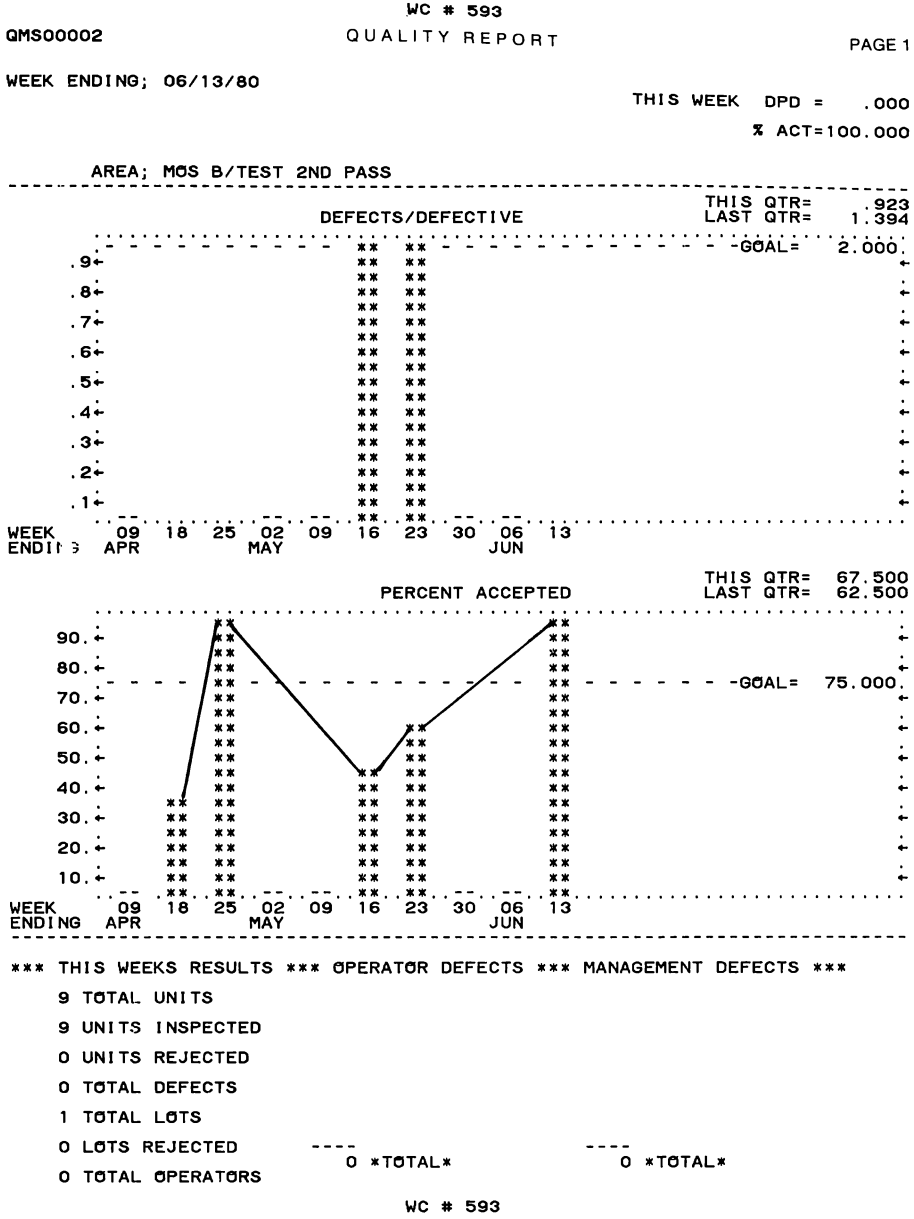

WC # 593
QMS00002
QUALITY REPORT
PAGE 1
WEEK ENDING; 06/13/80
THIS WEEK DPD = .000
% ACT=100.000
AREA; MOS B/TEST 2ND PASS
DEFECTS/DEFECTIVE
THIS QTR= .923
LAST QTR= 1.394
-GOAL= 2.000
.9
.8
.7
.6
.5
.4
.3
.2
.1
WEEK ENDING 09 APR 18 25 MAY 02 09 16 23 30 JUN 06 13
PERCENT ACCEPTED
THIS QTR= 67.500
LAST QTR= 62.500
-GOAL= 75.000
90.
80.
70.
60.
50.
40.
30.
20.
10.
WEEK ENDING 09 APR 18 25 MAY 02 09 16 23 30 JUN 06 13
*** THIS WEEKS RESULTS *** OPERATOR DEFECTS *** MANAGEMENT DEFECTS ***
9 TOTAL UNITS
9 UNITS INSPECTED
0 UNITS REJECTED
0 TOTAL DEFECTS
1 TOTAL LOTS
0 LOTS REJECTED
0 TOTAL OPERATORS
0 *TOTAL*
0 *TOTAL*
WC # 593

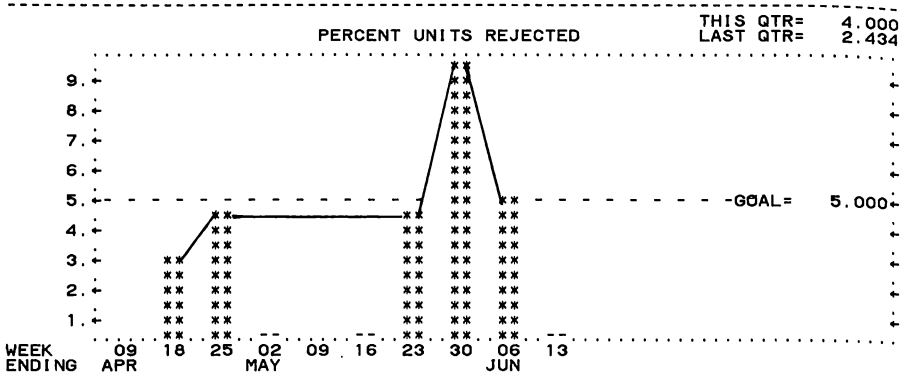
Figura 15.11

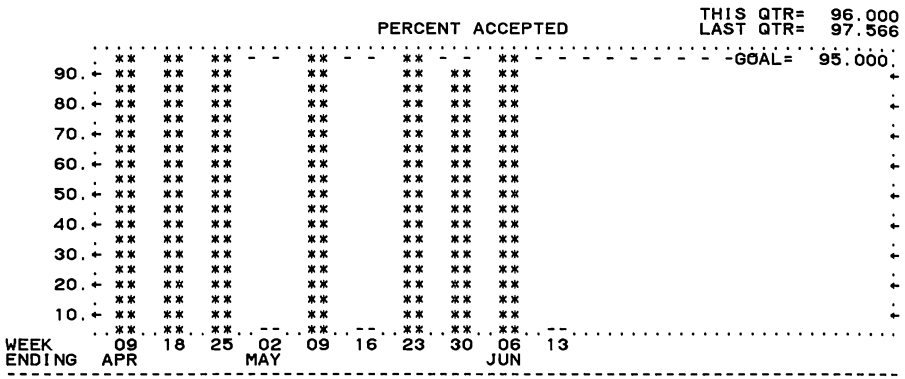
QMS00002 QUALITY REPORT

WEEK ENDING; 06/13/80

THIS WEEK %-U-R= .000
% ACT= .000

AREA; NCO GOODS IN MECH





*** THIS WEEKS RESULTS *** OPERATOR DEFECTS *** MANAGEMENT DEFECTS ***

0 TOTAL UNITS
0 UNITS INSPECTED
0 UNITS REJECTED
0 TOTAL DEFECTS
0 TOTAL LOTS
0 LOTS REJECTED ---- ----
0 *TOTAL* 0 *TOTAL*
0 TOTAL OPERATORS

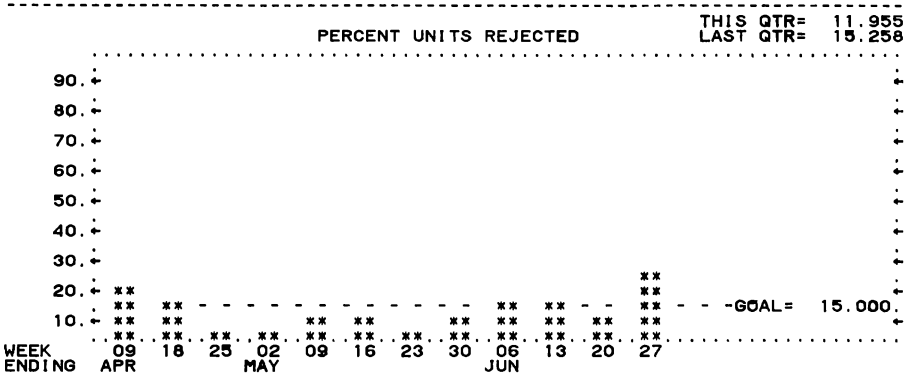
Figura 15.12

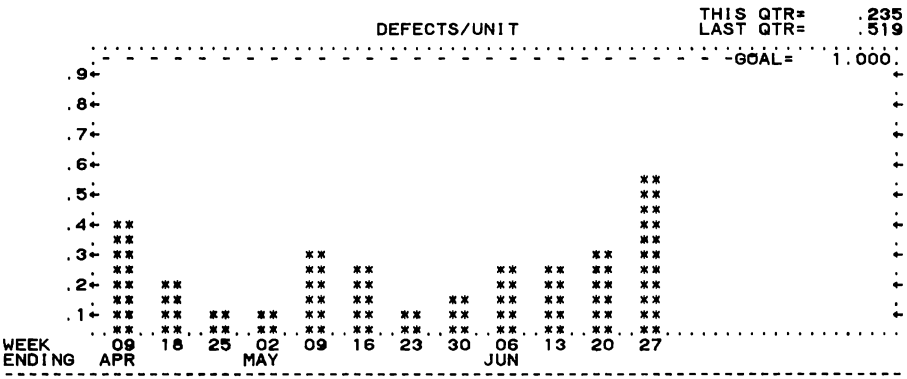
WEEK ENDING; 06/27/80

THIS WEEK %-U-R= 27.083

DPU = .562

AREA; HARNESS BOARD FINAL





*** THIS WEEKS RESULTS *** OPERATOR DEFECTS *** MANAGEMENT DEFECTS ***

48 TOTAL UNITS	8 WRONG LOCATION	
48 UNITS INSPECTED	8 MISSING	
13 UNITS REJECTED	3 PIN SEAT/MATING	
27 TOTAL DEFECTS	2 MARKING	
15 TOTAL LOTS	2 DAMAGE	
0 LOTS REJECTED	----	----
	27 *TOTAL*	0 *TOTAL*
0 TOTAL OPERATORS		

Figura 15.13

APPENDICE

SCHEMA DI UN PROGRAMMA DI CORSO ORIENTATO AI TECNICI

L'introduzione ha sottolineato adeguatamente che questo libro è stato scritto per i manager, con lo scopo di dare loro la possibilità di esaminare ed apprezzare la tecnologia dei microcomputer e che cosa si può realizzare con essa.

Un testo scritto per personale tecnico dovrebbe essere di complemento a quanto abbiamo detto, trattando i seguenti temi:

1. *Architettura del microcomputer*

- CPU
- Registri
- Indirizzamento della memoria RAM, ROM
- Struttura dell'I/O
- Struttura del BUS

2. *Logica pre-programmata*

- Approccio di base
- Insieme di istruzioni
- Programmi
- Documentazione

3. *Programmazione dei microcomputer*

- Modalità d'indirizzamento
- Tecniche fondamentali di programmazione
- Diagrammi
- Looping e interazioni
- Scrivere un programma
- Eseguire un programma
- Provare un programma

4. *Strutturare un sistema software*

- Partizionare un problema
- Progettazione particolare e riusabilità
- Ottimizzazione del tempo di esecuzione e risorse utilizzate
- Modalità d'indirizzamento
- Aggiungere facoltà
- Eliminare le anomalie
- Esempi di software

5. *Supporti software*

- Assemblatori
- Compilatori
- Routine nidificate
- Precisione aritmetica
- I/O software
- Tecniche di mascheratura, di shift e decisionali
- Tavole, indirizzamento delle tavole e tavole decisionali
- Caricamento ed esecuzioni dei programmi

6. *DB/DC*

- Accesso al database
- Protezione del database
- Organizzazione degli archivi
- Organizzazione dei messaggi
- Comunicazioni
- Apparecchiature periferiche
- Modem su un chip

7. *Documentazione*

- Ottenere la documentazione
- Scrivere la documentazione
- Il manuale del programmatore, dell'operatore e dell'utente
- Usare la documentazione
- Dove trovare informazioni imparziali sui processori

8. *Fondamenti d'interfacciamento*

- Parte di I/O
- I/O dedicato
- Operazioni di I/O

- I/O orientato al bus
- Mappa di memoria dell'I/O
- Accesso diretto alla memoria
- Interrupt
- Programmare l'I/O
- Tecniche di buffering
- Sensori
- Metodi di controllo di base (on-off e proporzionali)
- Conversione da analogico a digitale e viceversa

9. *Periferiche*

- Video
- Stampanti
- Dischi
- Audio tape
- Memoria a bolle
- Vincoli di I/O
- Controllo di linea

10. *Panoramica sui microprocessori*

- Intel 8080, 8085
- Zilog Z80
- Motorola 6800 e 6802
- Fairchild F8
- Synartek 6502
- Texas Instruments 9900

11. *Introduzione, ad esempio, all'Intel 8048, control computer*

- Capacità di memoria
- Parte di I/O
- Timers
- Programmazione
- Flusso dei dati
- Capacità aritmetiche e decisionali
- Sottoroutine
- I/O e procedure di sistema
- Manipolazione a livello bit
- Relazione fra efficienza e dimensione del programma

12. *Altri microcomputer su singolo chip*

- Mostek 3870
- Fairchild 3859
- Texas Instruments 9940

- Tendenza nei sistemi a singolo chip
- Sistemi di computer su una sola piastra
- Piastre di supporto (ad esempio per memoria ed I/O)

13. *Sistemi di sviluppo*

- Promt della Intel
- Exorciser della Motorola
- System 65 della Rockwell

14. *Applicazioni*

- Acquisizione di dati
- Controllo di processo
- Strumentazione
- Controllo di macchine
- Terminali POS
- Controllo di periferie
- Applicazioni per le automobili
- Applicazioni a prodotti di consumo
- Controllo ambientale

15. *Standard "di fatto" per i bus*

- S-100 della Pertec
- Multibus della Intel
- Bus 9900 della Texas Instruments
- Microbus della National

GLOSSARIO

ALU	Arithmetic and Logical Unit
ATE	Automatic Test Equipment
BCD	Binary Coded Decimal
BPW	Bits Per World
CAD	Computer Aided Design
CAI	Computer Aided Instruction
CAM	Computer Aided Manufacturing
CM	Central Memory
COM	Computer Output to Microfilm
CPU	Central Processing Unit
DCM	Data Comunications Multiplexer
DIS	Distributed Information Systems
DMA	Direct Memory Access
DTL	Diode Transistor Logic
ECL	Emitter Coupled Logic
EPROM	Erasable Programmable Read Only Memory
GBytes	Giga (10^9) Bytes
IC	Integrated Circuit
ICE	In-Circuit Emulation
KB	Kilo (10^3) Bits
KBPS	Kilo (10^3) Bits per Second
LIFO	Last In/First Out
LSI	Large Scale Integration
MBytes	Mega (10^6) Bytes
MBPS	Mega (10^6) Bits per Second
MIPS	Millions of Instructions per Second
MOS	Metal Oxyde Semiconductor
MPM	Micro Program Memory
MSI	Medium Scale Integration
MTBF	Mean Time Between Failure

MTBUI	Mean Time Between Unit Interruption
NC	Numerical Control of Machine Tools
OA	Office Automation
OS	Operating System
PBX	Private Branch Exchange
PCB	Printed Circuit Board
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PDT	Programmed Data Transfers
PROM	Programmable Read Only Memory
Puma	Programmable Universal Machine for Assembly
RAM	Random Access Memory
REPROM	Reprogrammable Read Only Memory
ROM	Read Only Memory
RTL	Resistor Transistor Logic
RWM	Read and Write Memory
SAGE	Semiautomatic Air to Ground Equipment
SOS	Silicon-Sapphire
SSI	Small Scale Integration
TTL	Transistor Transistor Logic
VAN	Value Added Network
VHSI	Very High Speed Integration
VLSI	Very Large Scale Integration
VS	Virtual Storage
WP	Word Processing

Cod. 335H

ISBN 88-7056-132-1

Protagonista del libro è la tecnologia, il suo sviluppo, le sue prospettive, il suo rapporto con la scienza.
Dopo aver esaminato e richiamato le nuove frontiere della ricerca, il libro entra nelle tematiche della tecnologia di punta nel processo di evoluzione delle società, dei mercati, del modo di produrre, di vivere e di lavorare: computer e integrazione circuitale.
L'espressione più significativa di questa evoluzione tecnologica e scientifica è il *microprocessore.* Vengono esaminate le tecnologie per produrlo, progettarlo, applicarlo, a un dettaglio sufficiente perchè manager, pianificatori, uomini di marketing, responsabili di produzione, professionisti in genere, possano comprendere la portata, le possibilità, le caratteristiche.
La seconda parte del testo si incentra sulla portata applicativa delle nuove tecnologie nel campo della progettazione e della produzione. In particolare l'integrazione CAD/CAM e la robotica, l'impatto sull'azienda della loro applicazione, sulla qualità dei prodotti e sulla produttività, ed infine le prospettive per la robotica.

L. 20.000

77

MICROPROCESSORI AL SERVIZIO DEL MANAGEMENT: CAD/CAM e Robotica

DIMITRIS N. CHORAFAS

GRUPPO EDITORIALE JACKSON